



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PERENCANAAN UNDERPASS SIMPANG MANDAI
MAKASSAR DENGAN METODE JACKED BOX
TUNNEL**

MUH. DWIYANTO AGUNG P.
NRP. 3113100148

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PERENCANAAN UNDERPASS SIMPANG MANDAI
MAKASSAR DENGAN METODE JACKED BOX
TUNNEL**

MUH. DWIYANTO AGUNG P.
NRP. 3113100148

Dosen Pembimbing I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC14-1501

**DESIGN OF SIMPANG MANDAI MAKASSAR
UNDERPASS WITH JACKED BOX TUNNEL METHOD**

MUH. DWIYANTO AGUNG P.
NRP. 3113100148

Academic Supervisor I
Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D.

Academic Supervisor II
Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERENCANAAN UNDERPASS SIMPANG MANDAI MAKASSAR DENGAN METODE JACKED BOX TUNNEL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Geoteknik
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHI. DWIYANTO AGUNG P.
NRP. 3113100148

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, MSc., PhD.
2. Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT.



**SURABAYA
JULI 2017**

PERENCANAAN UNDERPASS SIMPANG MANDAI MAKASSAR DENGAN METODE JACKED BOX TUNNEL

Nama Mahasiswa : Muh. Dwiyanto Agung Prakasa
NRP : 3113100148
Jurusan : Teknik Sipil, FTSP, ITS
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar,
M.Sc., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT.

Abstrak

Simpang Mandai merupakan simpang lima yang menghubungkan jalan tol kemerdekaan, jalan menuju kabupaten Maros, akses menuju Bandara serta jalan dari arah Makassar. Oleh karena itu, daerah Simpang Mandai sering terjadi kemacetan lalu lintas. Dalam rangka mengatasi hal tersebut, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI Direktorat Jenderal Bina Marga membangun sebuah Underpass dengan tujuan memperlancar lalu lintas. Underpass Simpang Mandai memiliki total panjang 1050 m yang terdiri atas area tertutup dengan panjang 110 m dan area terbuka 940 m. Underpass ini dibangun dengan Secant pile sebagai dinding penahan tanah serta menggunakan metode open cut dalam proses konstruksi. Secant pile terdiri atas Primary pile dan Secondary pile dengan diameter masing-masing 80 cm dengan mutu K-175 dan K-300. Dalam proses konstruksi, diharuskan untuk menutup akses jalan dan mengalihkan lalu lintas. Hal ini menyebabkan kemacetan lalu lintas yang tinggi dan akan berlangsung lama mengingat metode konstruksi yang digunakan membutuhkan waktu yang cukup panjang. Dalam rangka menghindari kemacetan lalu lintas akibat pembangunan Underpass, diusulkan alternatif metode konstruksi yang digunakan yaitu Jacked Box Tunnel.

Jacked box tunnel adalah sistem terowongan box yang didorong oleh alat hydraulic. Jacked box tunnel menggunakan beton precast berbentuk kotak sebagai struktur utama yang terdiri atas beberapa segmen dan dihubungkan menggunakan kabel prategang. Metode konstruksi ini juga dilengkapi dengan nose blade dan anti drag system untuk mengurangi koefisien geser agar tanah disekitar box tunnel tidak mengalami pergeseran selama proses jacking. Alasan dipilihnya Jacked Box Tunnel sebagai alternatif perencanaan Underpass adalah selama pelaksanaan konstruksi Jacked Box Tunnel, jalan simpang lima diatasnya tidak harus ditutup serta mampu menghemat waktu konstruksi.

Dari hasil perencanaan yang dilakukan, diketahui bahwa Jacked Box Tunnel terdiri atas 11 segmen box tunnel dengan panjang 10 m per segmen. Jacked Box Tunnel yang digunakan terbuat dari material beton bertulang dengan tebal plat atas, dinding dan bawah adala 1,1 m. Jacked Box Tunnel dilengkapi dengan anti drag system yang berupa zynclaume sheets dan dilumuri dengan minyak pelumas (grease effect). Dibutuhkan 6 buah alat jack hydraulic dengan kapasitas 1000 ton per alat untuk mampu mendorong seluruh segmen box tunnel. Dinding penahan tanah yang digunakan dalam konstruksi area terbuka underpass adalah Corrugated Concrete Sheet Pile type W-600 A1000. Sheet Pile dipasang sedalam 22 m untuk kedalaman galian 10.5 m dengan 2 buah strut untuk meningkatkan kekauan sheet pile.

Keyword : Jacked box tunnel, Anti Drag System, Jack Hydraulic, Underpass, Simpang Mandai, Makassar

DESIGN OF SEMPANG MANDAI MAKASSAR UNDERPASS WITH JACKED BOX TUNNEL METHOD

Name of Student : Muh. Dwiyanto Agung Prakasa
Student's Number : 3113100148
Department : Civil Engineering Dept., FTSP, ITS
Supervisor I : Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar,
M.Sc., Ph.D.
Supervisor II : Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT.

Abstract

Sempang Mandai is an intersection of five that connects the freeway toll road, the road to Maros district, access to the airport and the road from Makassar. Therefore, Sempang Mandai area often occurs traffic jam. In order to overcome this, the Ministry of Public Works and People's Housing of the Republic of Indonesia Directorate General of Highways built a Underpass with the aim of expediting traffic. Mandai Sempang underpass has a total length of 1050 m which consists of a closed area with a length of 110 m and an open area of 940 m. The underpass is built with a secant pile as a retaining wall and uses an open cut method in the construction process. Secant pile consists of Primary pile and Secondary pile with diameter of 80 cm each with quality K-175 and K-300. In the construction process, it is necessary to close road access and divert traffic. This causes high traffic congestion and will last long considering the construction method used takes a long time. In order to avoid traffic congestion caused by Underpass development, it is proposed alternative method of construction used is Jacked Box Tunnel.

Jacked tunnel tunnel is a box tunnel system driven by a hydraulic device. Jacked tunnel box uses box-shaped precast concrete as the main structure consisting of several segments and connected using prestressing cable. This construction method is

also equipped with nose blade and anti drag system to reduce the shear coefficient so that the ground around the tunnel box does not experience a shift during the process of jacking. The reason for choosing Jacked Box Tunnel as an alternative to Underpass planning is during the construction of the Jacked Box Tunnel, the intersection of five above does not have to be closed and can save construction time.

From the results of planning done, it is known that the Jacked Box Tunnel consists of 11 segments tunnel box with a length of 10 m per segment. Jacked Box Tunnel used is made of reinforced concrete material with thick plate top, wall and bottom is 1.1 m. Jacked Box Tunnel is equipped with anti drag system in the form of zynclaume sheets and smeared with grease effect (grease effect). It takes 6 pieces of hydraulic jack tool with a capacity of 1000 tons per tool to be able to push the entire box tunnel segment. The retaining wall used in the underpass open area construction is Corrugated Concrete Sheet Pile type W-600 A1000. Sheet Pile mounted as deep as 22 m for 10.5 m deep depth with 2 struts to increase sheet pile sheath.

Keyword : Jacked box tunnel, Anti Drag System, Jack Hydraulic, Underpass, Simpang Mandai, Makassar

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “PERENCANAAN *UNDERPASS* SIMPANG MANDAI MAKASSAR DENGAN METODE *JACKED BOX TUNNEL*” ini.

Tugas Akhir ini diajukan sebagai persyaratan gelar kesarjanaan jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat berguna bagi semua pihak. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, untuk itu segala saran dan masukan tentang penulisan tugas akhir ini sangat diharapkan.

Adapun dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini penulis memperoleh bantuan dan bimbingan serta banyak dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua serta keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan dalam proses penyelesaian laporan ini.
2. Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, membantu serta memberikan ilmu dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas bimbingan serta ilmu yang telah diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Trijoko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen wali penulis yang telah memberikan semangat dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.

5. Teman-teman “Forum Komunikasi”; Asrar Amir, Andi Akram, Aliando Togu, Dary Wira, Dofran Winner, Ottofianus, Multazam dan Teguh atas diskusi dan semangatnya selama ini.
6. Teman-teman angkatan 2013 Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS yang telah berjuang bersama selama empat tahun ini.
7. Teman – teman Anggota Himpunan Mahasiswa Sipil FTSP ITS atas pembelajaran dan dukungannya selama ini.
8. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Walaupun masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan. Penulis juga memohon maaf atas kekurangan yang ada pada Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
Abstrak	iii
Abstract	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tanah dan Karakteristiknya.....	7
2.2 Parameter Data Tanah	8
2.2.1 Klasifikasi Tanah.....	8
2.2.2 Analisis Data Tanah.....	12
2.3 Analisis Stabilitas Lereng.....	15
2.3.1 Metode Irisan Bishop yang disederhanakan	17
2.4 Tekanan Tanah Lateral	18
2.4.1 Tekanan Tanah Aktif.....	20
2.4.2 Tekanan Tanah Pasif	21
2.4.3 Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam	22

2.5	Dinding Penahan Tanah	25
2.5.1	Analisa Stabilitas Dinding	26
2.6	Jacked Box Tunnel	30
2.7	Sheet Pile	35
2.7.1	Pembebanan pada Turap	35
2.7.2	Analisis Dinding Turap Berjangkar	35
BAB III METODOLOGI		43
BAB IV DATA DAN ANALISIS		47
4.1	Data Tanah	47
4.2	Data untuk Desain dan Analisis	50
4.2.1	Data Beban	50
4.2.2	Data Spesifikasi Bahan	51
BAB V PERENCANAAN GEOTEKNIK		53
5.1	Perencanaan <i>Jacked Box Tunnel</i>	53
5.1.1	Perencanaan Plat Atas <i>Box Tunnel</i>	57
5.1.2	Perencanaan Plat Dinding <i>Box Tunnel</i>	64
5.1.3	Perencanaan Plat Bawah <i>Box Tunnel</i>	71
5.1.4	Kontrol Uplift	78
5.1.5	Perhitungan Gaya Jack Hydraulic	79
5.2	Perencanaan <i>Sheet Pile</i>	82
5.2.1	Perhitungan <i>Sheet Pile</i>	82
5.2.2	<i>Zoning Sheet Pile</i>	116
5.2.3	Kontrol <i>Uplift</i>	118
5.2.4	Perhitungan <i>Strut</i>	123

5.3	Metode Pelaksanaan Geoteknik.....	129
5.3.1	Pekerjaan <i>Sheet Pile</i>	129
5.3.2	Pekerjaan Jacked Box Tunnel.....	133
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		141
6.1	Kesimpulan.....	141
6.2	Saran.....	143
DAFTAR PUSTAKA.....		145
LAMPIRAN		147
BIODATA PENULIS.....		201

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (Kemenpupera RI) adalah salah satu kementerian di dalam Pemerintahan Indonesia yang mempunyai tugas untuk menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang pekerjaan umum dan perumahan rakyat serta untuk membantu Presiden dalam menyelenggarakan pemerintahan negara. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia membawahi 6 Direktorat Jenderal salah satunya Direktorat Jenderal Bina Marga. Direktorat Jenderal Bina Marga mempunyai tugas menyelenggarakan perumusan dan pelaksanaan kebijakan di bidang penyelenggaraan jalan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Pembangunan infrastruktur oleh Kemenpupera RI Ditjen Bina Marga tersebar di seluruh Indonesia termasuk di kota Makassar provinsi Sulawesi Selatan.

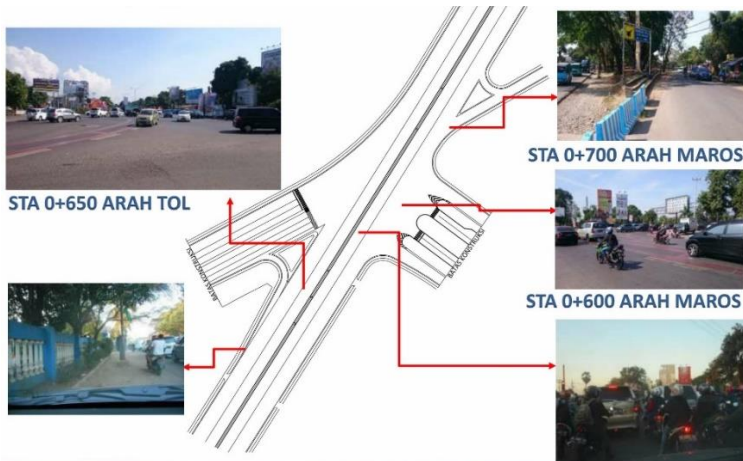
Kota Makassar adalah ibu kota provinsi Sulawesi Selatan. Makassar memiliki wilayah seluas 199,26 km² dengan jumlah penduduk lebih dari 1,6 juta jiwa. Makassar berada di urutan keenam dengan penduduk terpadat di Indonesia setelah Jakarta, Surabaya, Bandung, Medan dan Semarang. Dari tahun ke tahun, jumlah penduduk kota Makassar mengalami peningkatan. Berdasarkan data pusat statistik, pada tahun 2013 penduduk kota Makassar mencapai 1,508 juta jiwa dan tahun 2015 mencapai hingga 1,7 juta jiwa. Sedangkan berdasarkan informasi BJJ DPU Makassar, kapasitas ruas jalan kota Makassar tidak mengalami peningkatan dari tahun 2012 hingga tahun 2014 yaitu 1593.46 km dan jumlah kendaraan bermotor di kota Makassar tahun 2015 mencapai 1,337 juta kendaraan. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor yang tidak diimbangi dengan pertumbuhan kapasitas jalan menyebabkan kemacetan lalu lintas di kota Makassar; Salah satunya di daerah Simpang Mandai.

Simpang Mandai merupakan simpang lima yang menghubungkan jalan tol kemerdekaan, jalan menuju kabupaten Maros, akses menuju Bandara serta jalan dari arah Makassar. Oleh karena itu, daerah Simpang Mandai sering terjadi kemacetan lalu lintas. Dalam rangka mengatasi hal tersebut, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI Direktorat Jenderal Bina Marga membangun sebuah *Underpass* dengan tujuan memperlancar lalu lintas. Gambar 1.1 menunjukkan lokasi proyek pembangunan *Underpass* Simpang Mandai, sedangkan Gambar 1.2 menunjukkan situasi Simpang Mandai Makassar.



Gambar 1. 1 Lokasi proyek pembangunan *Underpass* Simpang Mandai

(sumber: Presentasi *Pre Construction Meeting* Pembangunan *Underpass* Simpang Mandai Makassar)



Gambar 1. 2 Situasi Simpang Mandai Makassar

(sumber: Presentasi *Pre Construction Meeting* Pembangunan *Underpass* Simpang Mandai Makassar)

Berdasarkan laporan teknis proyek pembangunan *Underpass* Simpang Mandai, proyek ini dimulai pada tanggal 21 September 2015 dan selesai pada tanggal 11 Juli 2017. Proyek pembangunan *Underpass* Simpang Mandai dilaksanakan oleh PT. Adhi Karya (JO) – PT. Wijaya Karya dengan nilai kontrak Rp. 169.634.758.000,00. *Underpass* Simpang Mandai memiliki total panjang 1050 m yang terdiri atas area tertutup dengan panjang 110 m dan area terbuka 940 m. Lebar *Underpass* yang direncanakan adalah 20.6 m dengan ketinggian bersih *Underpass* 5.5 m. *Underpass* ini dibangun dengan *Secant pile* sebagai dinding penahan tanah serta menggunakan metode *open cut* dalam proses konstruksi. *Secant pile* terdiri atas *Primary pile* dan *Secondary pile* dengan diameter masing-masing 80 cm dengan mutu K-175 dan K-300. Kedalaman *Secant pile* yang digunakan bervariasi mulai dari kedalaman 4 m hingga 17 m. Dalam proses konstruksi, diharuskan untuk menutup akses jalan dan mengalihkan lalu lintas. Hal ini

menyebabkan kemacetan lalu lintas yang tinggi dan akan berlangsung lama mengingat metode konstruksi yang digunakan membutuhkan waktu yang cukup panjang. Gambar 1.3 menunjukkan kemacetan lalu lintas yang disebabkan pembangunan *Underpass*.



Gambar 1. 3 Kemacetan lalu lintas akibat pembangunan *Underpass*

(sumber: *Tribun Timur News*)

Dalam rangka menghindari kemacetan lalu lintas akibat pembangunan *Underpass*, diusulkan alternatif metode konstruksi yang digunakan yaitu *Jacked Box Tunnel*. *Jacked Box Tunnel* direncanakan untuk dipasang di *Underpass* area tertutup dan *Sheet Pile* diletakkan di *Underpass* area terbuka. Alasan dipilihnya *Jacked Box Tunnel* sebagai alternatif perencanaan *Underpass* adalah selama pelaksanaan konstruksi *Jacked Box Tunnel*, jalan simpang lima di atasnya tidak harus ditutup (*Box Jacking – A Useful Construction Tool by Anthony Lynn, Berkeley Engineering Company, Inc.*) serta mampu menghemat waktu konstruksi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas, beberapa permasalahan yang akan dibahas di Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi tanah pada daerah Simpang Mandai, Makassar?
2. Bagaimana beban yang bekerja pada dinding penahan tanah?
3. Bagaimana perencanaan dinding penahan tanah apabila digunakan *Box Tunnel* pada area tertutup *Underpass* ?
4. Bagaimana perencanaan *Sheet pile* yang digunakan sebagai dinding penahan tanah pada *Underpass* area terbuka.?
5. Bagaimana kondisi tahanan tanah disekitar *Jacked Box Tunnel* selama proses *Jacking* ?
6. Bagaimana sistem drainase *Underpass* ?
7. Bagaimana metode pelaksanaan proyek *Underpass* dengan metode *Jacked Box Tunnel* ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah merencanakan *Underpass* dengan metode *Jacked Box Tunnel*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data tanah yang digunakan adalah data tanah sekunder
2. Sistem penahan tanah *underpass* pada area konstruksi terbuka yang digunakan adalah *Box Tunnel*
3. Sistem penahan tanah *underpass* pada area konstruksi terbuka yang digunakan adalah *Sheet pile*
4. Tidak merencanakan kabel *prestress*
5. Tidak merencanakan perkerasan jalan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini diharapkan menjadi suatu alternatif perencanaan *Underpass* Simpang Mandai, Makassar, Sulawesi Selatan; dan dapat menjadi suatu alternatif di berbagai proyek di Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah dan Karakteristiknya

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah memiliki ukuran partikel yang sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Berdasarkan ukuran partikelnya, tanah dibagi menjadi empat jenis yaitu; kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*).

Secara umum dari hasil survei lapangan dan tes laboratorium tanah memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Braja M Das, 1998):

1. Permeabilitas tanah
2. Kemampuan dan konsoliditas tanah
3. Kekuatan tegangan geser tanah
4. Klasifikasi tanah

Struktur tanah didefinisikan sebagai susunan geometrik butiran tanah. Di antara faktor-faktor yang mempengaruhi struktur tanah adalah bentuk, ukuran, dan komposisi mineral dari butiran tanah serta sifat dan komposisi dari air tanah. Secara umum, tanah dapat dimasukkan ke dalam dua kelompok berdasarkan sifat lekatnya yaitu; tanah tak berkohesi (*Cohesionless Soil*) dan tanah kohesif (*Cohesive Soil*). Tanah tak berkohesi adalah tanah yang tidak memiliki atau sedikit sekali lekatan antar butirnya seperti pasir. Sedangkan tanah kohesif adalah tanah yang memiliki sifat lekatan antar butir-butirnya seperti tanah lempung.

2.2 Parameter Data Tanah

2.2.1 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu Bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya (Braja M Das, 1988).

Pada saat sekarang ada dua buah sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ahli teknik sipil. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas *Atterberg*. Sistem-sistem tersebut adalah; Sistem klasifikasi AASHTO dan sistem klasifikasi *USCS*.

- Sistem klasifikasi AASHTO

Pada sistem klasifikasi AASHTO, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 2.1 yang menunjukkan Klasifikasi tanah untuk lapisan tanah dasar jalan raya, hingga ditemukan angka-angka yang sesuai.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya

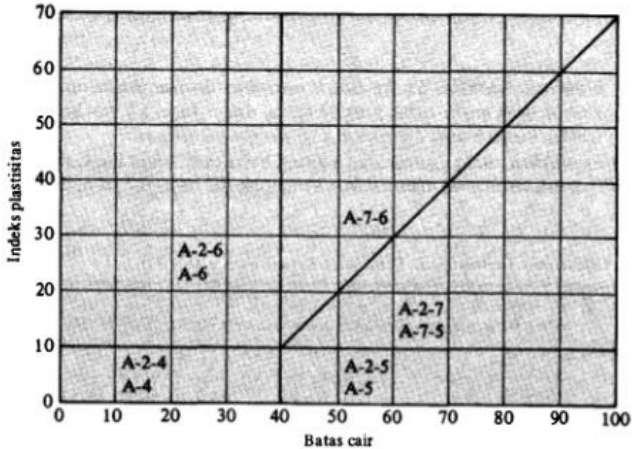
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Analisis ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36		Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Bisa sampai jelek			

*Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$

†Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Gambar 2.1 menunjukkan rentang (*range*) dari batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas (*PI*) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



Gambar 2. 1 Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.

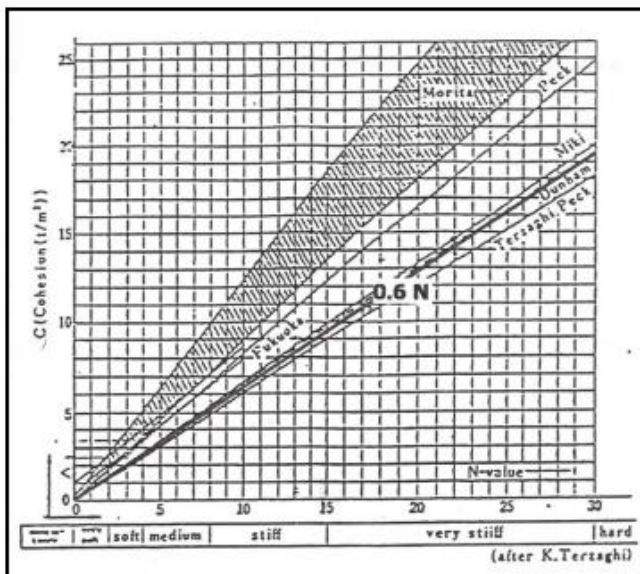
- Sistem klasifikasi USCS

Sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* diberikan dalam Tabel 2.2 Sistem klasifikasi *Unified*. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

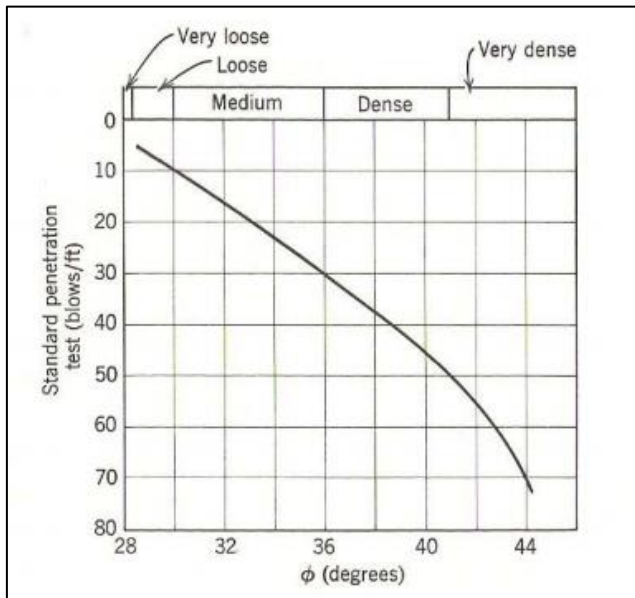
1. Tanah berbutir-kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir-halus (*fine-grained-soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-

2.2.2 Analisis Data Tanah

Dalam perencanaan, diperlukan data-data tanah seperti kohesi (C), berat volume tanah (γ) *saturated* ataupun *dry*, dan sudut geser tanah (ϕ) dari angka N-SPT yang didapatkan. Untuk mendapatkan data-data tersebut digunakan korelasi antara N-SPT dengan parameter-parameter tersebut. Gambar 2.2 menunjukkan korelasi N-SPT terhadap nilai C_u . Gambar 2.3 menunjukkan korelasi N-SPT terhadap nilai ϕ . Tabel 2.3 menunjukkan korelasi N-SPT dengan *relative density*. Tabel 2.4 menunjukkan korelasi N-SPT dengan q_u . Tabel 2.5 menunjukkan Korelasi N-SPT dengan γ untuk pasir. Tabel 2.6 menunjukkan korelasi N-SPT dengan γ dan q_u untuk tanah lempung. Gambar 2.4 menunjukkan perkiraan jenis tanah dari parameter CPT.



Gambar 2. 2 Korelasi N-SPT terhadap nilai C_u (Terzaghi, 1943)



Gambar 2. 3 Korelasi N-SPT terhadap nilai ϕ (Peck, Hanson, dan Thornburn, 1953)

Tabel 2. 3 Korelasi N-SPT dengan dengan relative density (Meyerhoff, 1956)

State of packing	Relative Density	Standard Penetration Resistance, N blows/ft
Very loose	< 0.2	< 4
Loose	0.2 - 0.4	4 - 10
Medium Dense/ Compact	0.4 - 0.6	10 - 30
Dense	0.6 - 0.8	30 - 50
Very Dense	>0.8	> 50

Tabel 2. 4 Korelasi N-SPT dengan q_u (Das,1984)

Consistency	Standard Penetration Number, N-SPT	Unconfined Compression Strength, q_u (kN/m ²)
Very soft	0 - 2	0 - 25
Soft	2 - 5	25 - 50
Medium Stiff/ Firm	5 - 10	50 - 100
Stiff	10 - 20	100 - 200
Very Stiff	20 - 30	200 - 400
Hard	> 30	>400

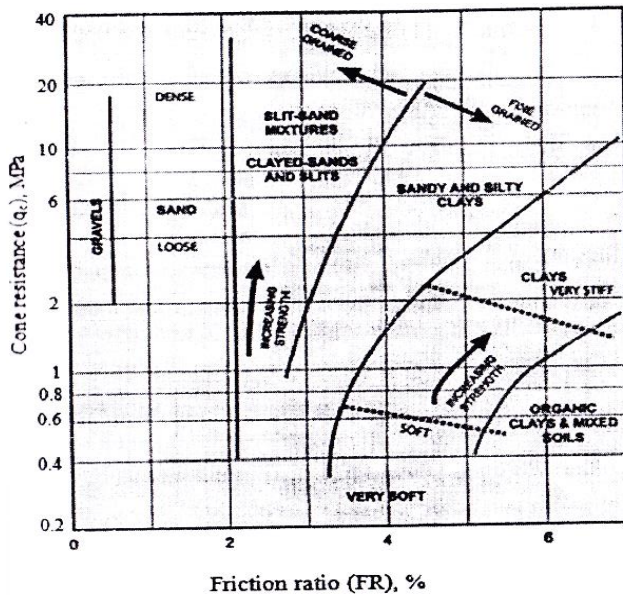
Tabel 2. 5 Korelasi N-SPT dengan γ untuk pasir (Teng,1962)

Table 3-1
Granular Soil Properties (after Teng 1962)

Compactness	Relative Density (%)	SPT N (blows per ft)	Angle of Internal Friction (deg)	Unit Weight	
				Moist (pcf)	Submerged (pcf)
Very Loose	0-15	0-4	<28	<100	<80
Loose	16-35	5-10	28-30	95-125	55-85
Medium	36-65	11-30	31-38	110-130	80-70
Dense	66-85	31-50	37-41	110-140	85-85
Very Dense	86-100	>51	>41	>130	>75

Tabel 2. 6 Korelasi N-SPT dengan γ dan q_u untuk tanah lempung (Terzaghi dan Peck, 1943)

N-SPT blows-feet	Konsistensi	Q_u (unconfined compressive strength) tons/ft ²	γ_{sat} kN/m ³
< 2	Very Soft	< 0.25	16 - 19
2 - 4	Soft	0.25 - 0.50	16 - 19
4 - 8	Medium	0.50 - 1.00	17 - 20
8 - 15	Stiff	1.00 - 2.00	19 - 22
15 - 30	Very Stiff	2.00 - 4.00	19 - 22
> 30	Hard	> 4.00	19 - 22



Gambar 2. 4 Perkiraan jenis tanah dari parameter CPT (Schertmann, 1978)

2.3 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengevaluasi kondisi kestabilan suatu lereng. Sebuah lereng dikatakan longsor ataupun stabil ditentukan oleh angka keamanan (*safety factor*). Angka keamanan didefinisikan sebagai berikut:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.1)$$

Keterangan :

F_s = angka keamanan rencana.

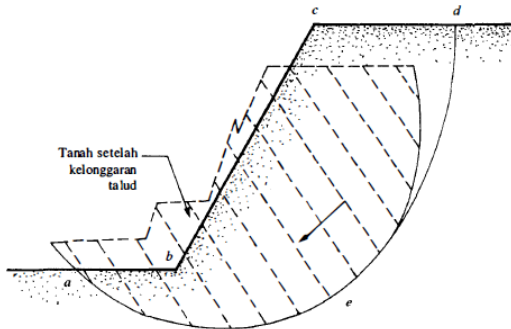
τ_f = kekuatan geser rata-rata dari tanah.

τ_d = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor

Dalam rangka menentukan terjadi atau tidaknya kelongsoran sebuah lereng, tabel 2.7 menunjukkan hubungan nilai *Safety Factor* dan kemungkinan longsor tanah (Bowles, J.E, 1989). Gambar 2.5 menunjukkan kelongsoran talud.

Tabel 2. 7 Hubungan nilai *SF* dan kemungkinan longsor tanah

Nilai SF	Kemungkinan Longsor
<1,07	Kelongsoran biasa terjadi (lereng labil)
1,07<SF<1,25	Kelongsoran pernah terjadi (lereng kritis)
>1,25	Kelongsoran jarang terjadi (lereng relatif stabil)



Gambar 2. 5 Kelongsoran Talud

Kekuatan geser tanah terdiri dari dua parameter, yaitu kohesi dan sudut geser tanah, dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.2)$$

Keterangan :

c = kohesi.

ϕ = sudut geser tanah.

σ = tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor.

Dengan cara yang sama, maka dapat dituliskan persamaan untuk tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor, sebagai berikut:

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \phi_d \quad (2.3)$$

Keterangan :

c_d = kohesi.

ϕ_d = sudut geser tanah yang bekerja sepanjang bidang longsor

Dengan memasukkan persamaan (2.2) dan (2.3) ke dalam persamaan (2.1), maka didapatkan:

$$F_s = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d} \quad (2.4)$$

2.3.1 Metode Irisan Bishop yang disederhanakan

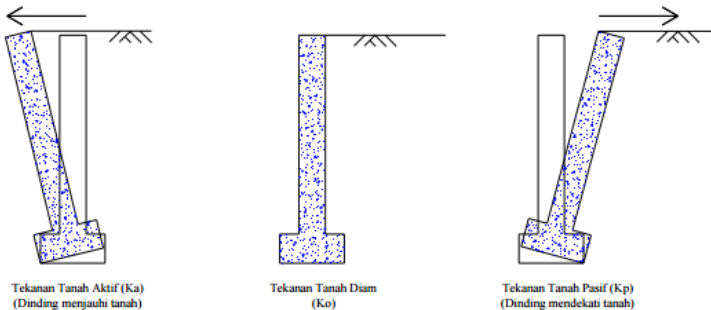
Pada tahun 1955, Bishop memperkenalkan suatu penyelesaian yang lebih teliti dari pada metode irisan yang sederhana. Dalam metode ini, pengaruh gaya-gaya pada sisi tepi tiap irisan diperhitungkan. Metode ini telah diterapkan dalam beberapa program komputer salah satunya *GeoStudio*.

2.4 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan oleh akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah pada bidang horizontal. Tekanan tanah lateral dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

1. Jika dinding menjauhi tanah, hingga terjadi keruntuhan, nilai K mencapai minimum yang dinamakan tekanan tanah aktif (K_a).
2. Jika dinding bergerak menekan ke arah tanah hingga runtuh, koefisien K mencapai nilai maksimum yang dinamakan tekanan tanah pasif (K_p).
3. Jika dinding tidak bergerak, K menjadi koefisien tekanan tanah diam (K_0).

Gambar 2.6 menunjukkan jenis tekanan tanah berdasarkan arah pergerakan dinding.



Gambar 2. 6 Jenis tekanan tanah berdasarkan arah pergerakan dinding.

(Sumber : Weber,2010)

Jenis tanah, tinggi dinding dan tekanan lateral yang bekerja mempengaruhi besarnya perpindahan dinding penahan tanah.

Tabel 2.8 menunjukkan hubungan jenis tanah, tinggi dinding dan perpindahan dinding untuk tekanan tanah aktif. Tabel 2.9 menunjukkan hubungan jenis tanah, tinggi dinding dan perpindahan dinding untuk tekanan tanah pasif. Gambar 2.7 menunjukkan grafik arah perpindahan dinding terhadap tekanan yang bekerja.

Tabel 2. 8 Hubungan jenis tanah, tinggi dinding dan perpindahan dinding untuk tekanan tanah aktif

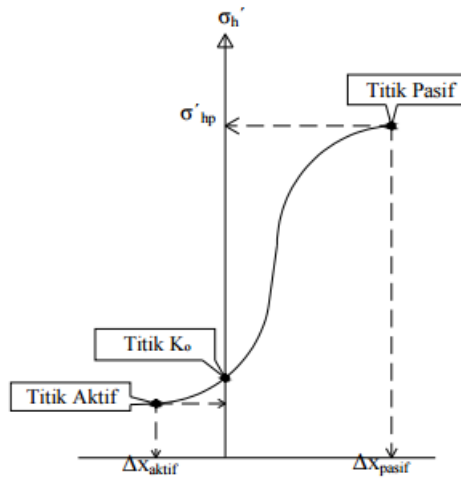
Jenis Tanah	Δx Aktif
Pasir Padat	$0,001H - 0,002H$
Pasir Lepas	$0,002H - 0,004H$
Lempung Keras	$0,01H - 0,02H$
Lempung Lunak	$0,02H - 0,05H$

(*Sumber: Gouw, 2009)

Tabel 2. 9 Hubungan jenis tanah, tinggi dinding dan perpindahan dinding untuk tekanan tanah pasif

Jenis Tanah	Δx Pasif
Pasir Padat	$0,005H$
Pasir Lepas	$0,01H$
Lempung Keras	$0,01H$
Lempung Lunak	$0,05H$

(*Sumber: Gouw, 2009)



(Sumber: Gouw, 2009)

Gambar 2. 7 Grafik arah perpindahan dinding terhadap tekanan yang bekerja

2.4.1 Tekanan Tanah Aktif

Suatu dinding penahan tanah dalam keseimbangan menahan tekanan tanah horizontal. Tekanan ini dapat dievaluasi dengan menggunakan koefisien tanah K_a . Jadi bila berat suatu tanah sampai kedalaman H maka tekanan tanahnya adalah γH dengan γ adalah berat volume tanah, dan arah dari tekanan tersebut adalah arahnya vertical ke atas. Sedangkan untuk mendapatkan tekanan horizontal maka K_a adalah konstanta yang fungsinya mengubah tekanan vertical tersebut menjadi tekanan horizontal.

Oleh karena itu tekanan horizontal dapat dituliskan sebagai:

$$\sigma_a = K_a \times \gamma \times H \quad (2.5)$$

Dimana harga K_a :

Untuk tanah datar:

$$K_a = \frac{1 - \sin Q}{1 + \sin Q} = \tan^2 \left(45 - \frac{Q}{2} \right) \quad (2.6)$$

Untuk tanah miring:

$$K_a = \left(\frac{\cos Q}{1 + \sqrt{\frac{\sin Q \sin(Q - \delta)}{\cos \delta}}} \right)^2 \quad (2.7)$$

Keterangan:

Q = sudut geser tanah

δ = kemiringan tanah

Selain itu, kohesi sebagai lekatan antara butiran tanah juga memiliki pengaruh mengurangi tekanan aktif tanah yaitu sebesar $2c\sqrt{K_a}$, sehingga perumusan menjadi:

$$\sigma_a = K_a \times \gamma \times H - 2 \times c \times \sqrt{K_a} \quad (2.8)$$

dimana

c = kohesi tanah.

2.4.2 Tekanan Tanah Pasif

Dalam hal tertentu suatu dinding penahan tanah dapat terdorong kearah tanah yang ditahan. Hal itu disebut sebagai tekanan tanah pasif. Arah dari tekanan tanah pasif berlawanan dengan arah tekanan tanah aktif.

Rumusan tekanan horizontal pasif dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma_p = K_p \times \gamma \times H \quad (2.10)$$

Dimana harga K_p

Untuk tanah datar adalah :

$$K_p = \frac{1+\sin Q}{1-\sin Q} = \tan^2 \left(45 + \frac{Q}{2} \right) = \frac{1}{K_a} \quad (2.11)$$

Untuk tanah miring adalah:

$$K_a = \left(\frac{\cos Q}{1 + \sqrt{\frac{\sin Q \sin(Q+\delta)}{\cos \delta}}} \right)^2 \quad (2.12)$$

Keterangan:

Q = sudut geser tanah

δ = kemiringan tanah

Dalam kasus tekanan lateral pasif, kohesi (lekatan antar butiran tanah) mempunyai pengaruh memperbesar tekanan pasif tanah sebesar $2c\sqrt{K_a}$, sehingga perumusan menjadi:

$$\sigma_p = K_p \times \gamma \times H + 2 \times c \times \sqrt{K_p} \quad (2.13)$$

Dimana c = kohesi.

2.4.3 Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam

Bila dinding penahan tanah dalam keadaan diam, yaitu bila dinding tidak bergerak ke salah satu arah baik ke kanan maupun ke kiri dari posisi awal, maka massa tanah akan berada dalam

keseimbangan elastis (*elastic equilibrium*). Rasio tekanan arah horizontal dan tekanan arah vertikal dinamakan “koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (*coefficient of earth pressure at rest*), K_0 ”, atau

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (2.14)$$

Karena $\sigma_v = \gamma z$, maka

$$\sigma_h = K_0 (\gamma z) \quad (2.15)$$

Untuk tanah berbutir, koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam dapat diwakili oleh hubungan empiris yang diperkenalkan oleh Jaky (1944).

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (2.16)$$

Brooker dan Ireland (1965) menyarankan agar kita menggunakan persamaan berikut ini untuk menghitung harga K_0 dari tanah lempung yang terkonsolidasi normal (*normally consolidated*):

$$K_0 = 0,95 - \sin \phi \quad (2.17)$$

Sudut ϕ dalam persamaan (2.16) dan (2.17) adalah sudut geser tanah dalam keadaan air teralirkan (*drained*).

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi lebih (*overconsolidated*), koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam (*at rest*) dapat diperkirakan sebagai berikut:

$$K_{O \text{ (overconsolidated)}} = K_{O \text{ (normally consolidated)}} \sqrt{OCR} \quad (2.18)$$

dengan:

OCR = *overconsolidation ratio* (rasio terkonsolidasi lebih)

Rasio terkonsolidasi lebih didefinisikan sebagai:

$$OCR = \frac{\text{tekanan pra konsolidasi}}{\text{tekanan aktif akibat lapisan tanah di atasnya}} \quad (2.19)$$

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal, persamaan empiris yang lain untuk K_0 telah diperkenalkan oleh Alpan (1967):

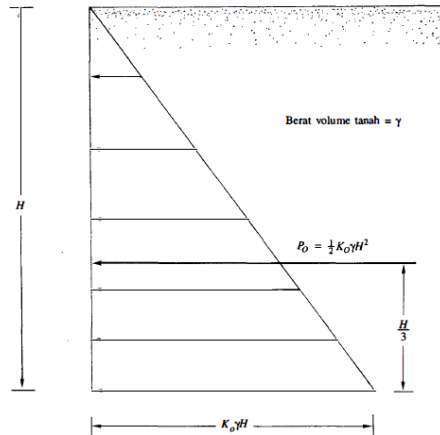
$$K_0 = 0,19 + 0,233 \log (PI) \quad (2.20)$$

dengan:

PI = indeks plastisitas

Gambar 2.8 menunjukkan distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam yang bekerja pada dinding setinggi H. Gaya total per satuan lebar dinding, P_0 , adalah sama dengan luas dari diagram tekanan tanah yang bersangkutan. Jadi,

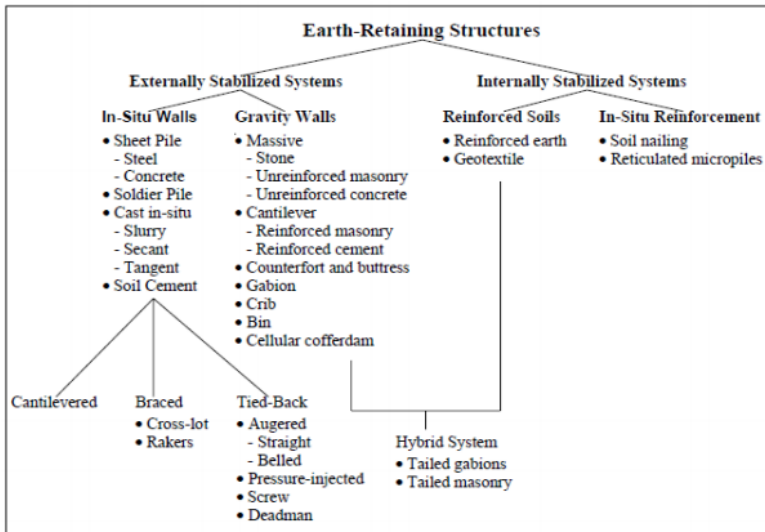
$$P_0 = \frac{1}{2} K_o \gamma H^2 \quad (2.21)$$



Gambar 2. 8 Distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam (*at rest*) pada tembok

2.5 Dinding Penahan Tanah

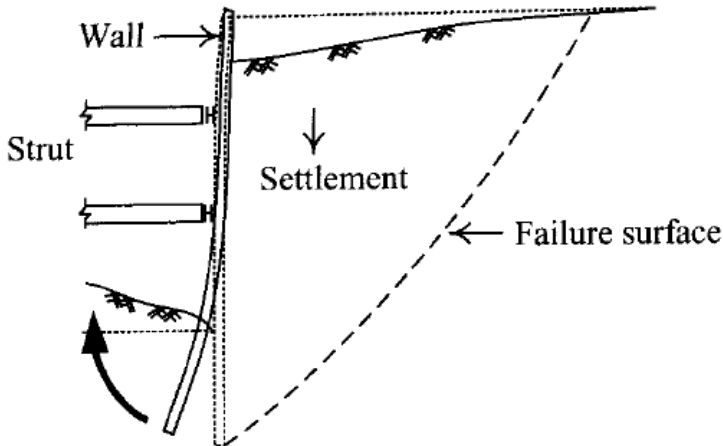
Dinding penahan tanah adalah struktur yang didesain untuk menjaga dan mempertahankan dua muka elevasi tanah yang berbeda (Coduto, 2001). Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah serta mencegahnya dari bahaya kelongsoran. Dinding penahan tanah memiliki berbagai macam jenis disesuaikan dengan kondisi yang ada di lapangan. Menurut O'Rourke dan Jones (1990), dinding penahan tanah diklasifikasikan menjadi 2 kategori yaitu sistem stabilitas eksternal dan sistem stabilitas internal serta sistem *hybrid* yang merupakan kombinasi dari keduanya. Gambar 2.9 menunjukkan klasifikasi dinding penahan tanah menurut O'Rourke dan Jones.



Gambar 2. 9 Klasifikasi Dinding Penahan Tanah.

2.5.1 Analisa Stabilitas Dinding

Di saat gaya geser suatu titik dalam tanah melebihi atau dalam kondisi seimbang dengan gaya geser tanah, titik tersebut berada dalam keadaan kritis atau akan mengalami keruntuhan. Bidang keruntuhan akan terbentuk pada saat banyak titik keruntuhan bersatu membentuk suatu bidang, sehingga mengakibatkan galian runtuh (*collapse*). Inilah yang dimaksud dengan *overal shear failure*. Kegagalan atau keruntuhan dalam penggalian adalah bencana dalam kawasan penggalian karena membahayakan bagi para pekerja dan peralatan, sehingga untuk menghindari kegagalan serta keruntuhan dibutuhkan analisa keruntuhan dengan analisa *push – in* yang akan dijelaskan melalui Gambar 2.10.



Wall bottom "kick out"

Gambar 2. 10 Keruntuhan akibat *Push – in*

{ sumber : Chang Yu – Ou, 2006 }

Dorongan pada analisa *push in* disebabkan oleh tekanan tanah ketika kondisi kritis, dimana hal tersebut dapat mengakibatkan dinding bergerak dalam jarak yang cukup jauh dari posisi semula terutama pada daerah dinding yang tertanam dalam tanah sehingga mengakibatkan keruntuhan seutuhnya.

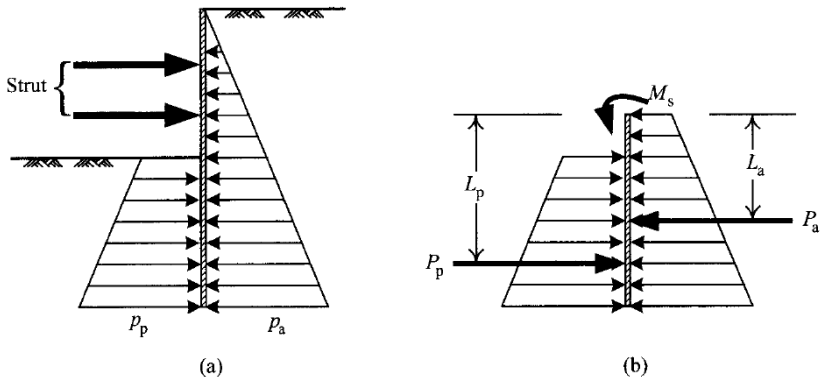
Metode yang digunakan pada analisa *push in* adalah metode *free earth support* dengan memodelkan dinding di bawah posisi *strut* terbawah sebagai *free body* dan melakukan analisis kesetimbangan gaya, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.11b** dan juga menghitung distribusi tekanan tanah baik aktif maupun pasif yang akan dijelaskan pada **Gambar 2.11a**. Setelah itu, faktor

keamanan terhadap *push in* dapat dicari menggunakan rumusan berikut ini :

$$F_p = \frac{Mr}{Md} = \frac{P_p L_p + M_s}{P_a L_a} \quad (2.22)$$

dimana,

- F_p = faktor keamanan terhadap *push – in*
- M_r = momen resisten
- M_d = momen pendorong
- P_a = resultan gaya tekan tanah aktif
- L_a = jarak dari *strut* terbawah ke titik tangkap gaya
- P_a
- M_s = momen lentur yang diijinkan pada dinding penahan tanah
- P_p = resultan gaya tekan tanah pasif
- L_p = jarak dari *strut* terbawah ke titik tangkap gaya
- P_p



Gambar 2. 11 Analisa push in dengan Metode Gross Pressure :
(a) distribusi Gross Earth Pressure dan (b) kesetimbangan gaya dinding penahan tanah sebagai free body

Persamaan (2.22) biasa disebut dengan metode *gross pressure*. Faktor keamanan yang disarankan oleh JSA (1988) dan TGS (2001) adalah $F_p \geq 1,5$, namun saat mengasumsikan $M_s = 0$, maka dapat digunakan $F_p \geq 1,2$. Selain menghitung faktor keamanan akibat *push in*, persamaan (2.22) dapat digunakan untuk mencari kedalaman penetrasi dinding penahan tanah yang tertanam dengan berbagai macam nilai faktor keamanan.

2.5.1.1 Kontrol Uplift

Kontrol akibat *uplift pressure* dilakukan pada bagian pelat paling bawah yang menyentuh tanah pada lapisan terdalam galian struktur bawah tanah. Dilakukan kontrol kestabilan terhadap gaya angkat ke atas akibat tekanan air tanah pada struktur bangunan bawah tanah tersebut. Di bawah pelat sepanjang dinding penahan tanah yang tertanam terdapat lapisan tanah kedap air yang akan menjadi sebagai penahan gaya angkat ini. Kontrol terhadap *uplift* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$F_b = \frac{W_{struktur} + \sum \gamma t \cdot h_t + Q_s/3}{H_w \cdot \gamma_w \cdot A} \quad (2.23)$$

dimana,

F_b = faktor keamanan terhadap gaya angkat
 $\geq 1,2$

$W_{struktur}$ = berat struktur di atas tanah galian

γt = berat jenis tanah kedap air

h_t = tebal lapisan tanah kedap air

Q_s = *skin friction* dinding penahan tanah

= $q_{si} \cdot A_{si} = \sum_{i=0}^{i=i} \left(\frac{Nsi}{3} + 1 \right) \cdot A_{si}$ (Luciano DeCourt, 1982)

H_w	= tinggi muka air tanah
γ_w	= berat jenis air tanah
A	= luasan pelat paling bawah

2.5.1.2 Kontrol Penurunan Tanah

Kontrol terhadap penurunan dilakukan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya penurunan dikarenakan berat struktur yang ada mengakibatkan tanah memampat. Kontrol terhadap penurunan dapat dihitung dengan cara menghitung selisih antara berat tanah yang dipindahkan dengan berat struktur stasiun bawah tanah.

2.6 Jacked Box Tunnel

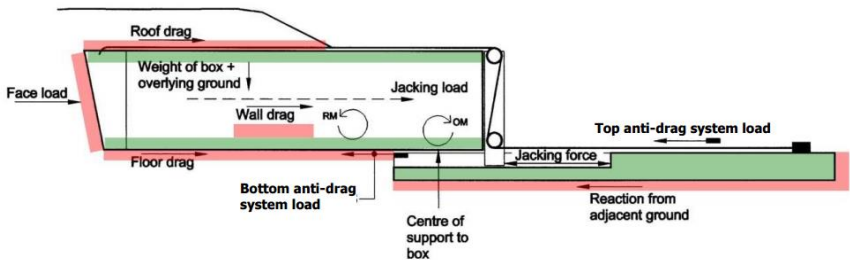
Jacked box tunneling adalah metode yang cocok untuk membangun terowongan dibawah jalan yang sangat padat lalu lintas. Dengan menggunakan metode ini, konstruksi terowongan tidak mengganggu lalu lintas yang ada diatasnya. *Jacked box tunnel* menggunakan beton *precast* berbentuk kotak sebagai struktur utama yang terdiri atas beberapa segmen dan dihubungkan menggunakan kabel prategang. Box beton didorong menggunakan peralatan *jack hydraulic*, dan *nose blade* yang terbuat dari baja dipasang didepan segmen yang pertama selama proses *jacking*. Tanah yang berada di dalam box digali dan dikeluarkan menggunakan *excavator* dan *dump truck*. Gambar 2.14 menunjukkan *jacked box tunnel installation*.

Jack hydraulic atau alat dorong hidrolik merupakan peralatan yang digunakan dalam mendorong *box tunnel* kedalam tanah dengan konsep hidrolik. Gambar 2.13 menunjukka *jack hydraulic*. Besar gaya *jack* yang diperlukan dapat diperoleh dengan formula sebagai berikut:

$$\text{Jacking force} = \text{face load} + \text{roof drag} + \text{floor drag} + \text{wall drag} \quad (2.24)$$

Reaction from adjacent ground > Jacking force – ADS
(anti drag system)

Gaya-gaya yang bekerja dalam *jacked box tunnel* dapat digambarkan seperti gambar 2.12 yang menunjukkan *jacked box tunnel installation force*.



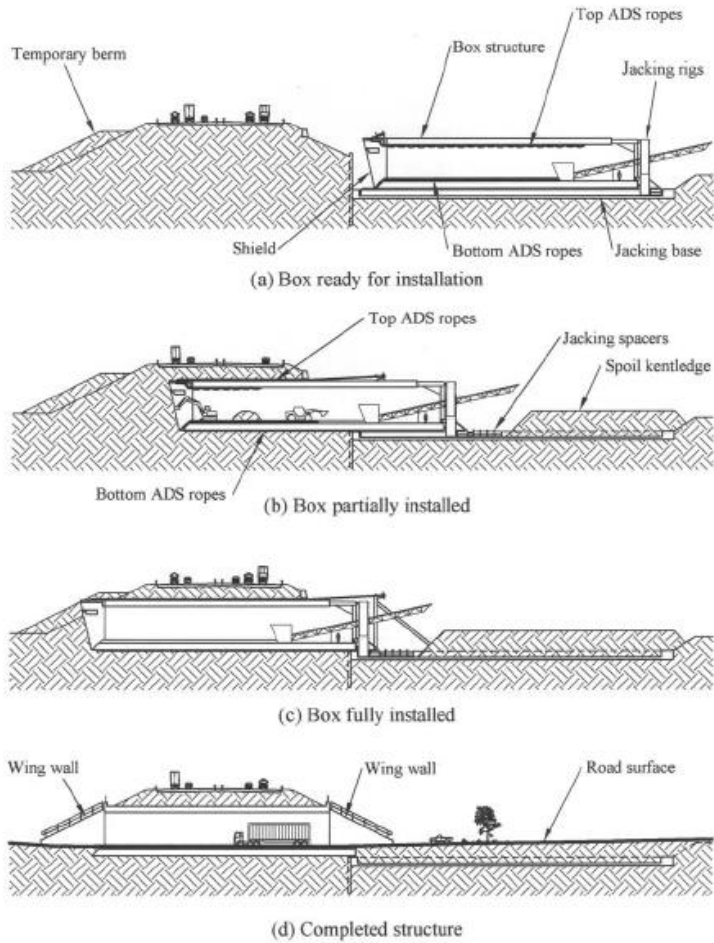
Gambar 2. 12 Jacked box tunnel installation force



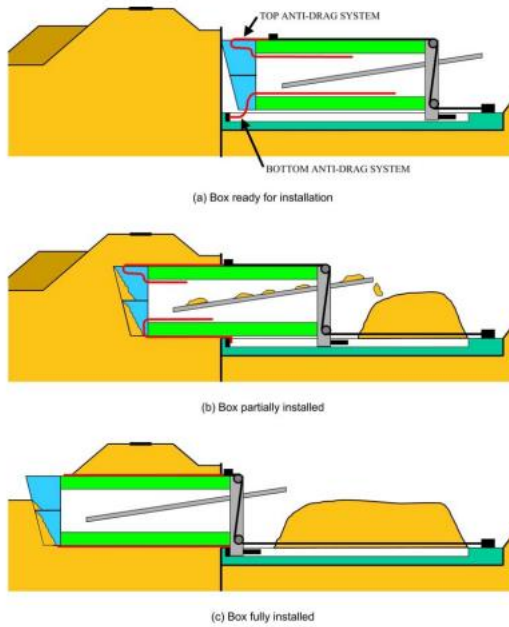
Gambar 2. 13 Jack Hydraulic

Anti drag system merupakan sistem yang dipasang di atas, di bawah dan di samping struktur *box tunnel* untuk mengurangi hambatan gesek antara struktur box dan tanah disekitarnya selama proses *jacking* berlangsung. Sistem ini bekerja untuk menyeimbangkan friksi yang bekerja di atas dan di bawah *box tunnel*, yang berkontribusi untuk mengontrol keselarasan selama proses *jacking* dan juga mengurangi potensi penurunan permukaan dan gerakan lateral yang membebani terowongan dengan memisahkan *box tunnel* dan tanah. Dalam beberapa literatur, *anti drag system* dapat berupa *wire rope* ataupun *steel plate*. Gambar 2.15 menunjukkan *top and bottom anti drag system*.

Nose blade atau *tunneling shield* merupakan struktur pelindung dalam penggalian terowongan yang berfungsi sebagai struktur pendukung sementara dalam memotong tanah di depannya. *Nose blade* dapat terbuat dari baja maupun beton. Dalam beberapa kasus, *nose blade* dapat membantu proses *jacking box tunnel* dengan memotong tanah didepannya agar tanah disekitar *box tunnel* tidak mengalami pergerakan. Gambar 2.16 menunjukkan *nose blade*.



Gambar 2. 14 Jacked Box Tunnel Installation



Gambar 2. 15 Top and Bottom Anti Drag System



Gambar 2. 16 Nose Blade

2.7 Sheet Pile

Sheet Pile atau biasa dikenal dengan dinding penahan tanah turap merupakan konstruksi dinding penahan tanah yang dapat menahan tekanan tanah di sekelilingnya, mencegah terjadinya kelongsoran dan biasanya terdiri dari dinding turap dan penyangganya. Konstruksi turap terdiri dari beberapa lembaran turap yang dipancangkan ke dalam tanah, serta membentuk formasi dinding menerus vertikal yang berfungsi untuk menahan timbunan tanah atau lereng.

Konstruksi turap dapat terbuat dari kayu, beton maupun baja. Konstruksi dinding penahan tanah turap menggunakan kayu biasanya digunakan untuk dinding penahan tanah yang tidak begitu tinggi, karena tidak kuat untuk menahan beban-beban lateral yang besar. Turap kayu banyak digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan sementara, misalnya untuk penahan tebing galian. Konstruksi dinding penahan turap menggunakan beton biasa digunakan untuk perkuatan permanen atau pada detail-detail konstruksi yang sulit. Konstruksi dinding penahan tanah turap menggunakan baja merupakan jenis turap yang paling umum digunakan, baik untuk pekerjaan yang permanen ataupun sementara.

2.7.1 Pembebanan pada Turap

Beban-beban yang bekerja pada turap terdiri dari:

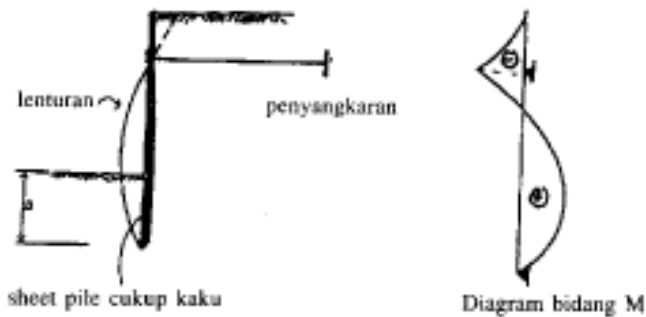
- Tekanan tanah aktif dibelakang turap dan tekanan tanah pasif didepan turap
- Beban permukaan, misal disebabkan oleh lereng tanah
- Beban lainnya, misal tekanan air samping

2.7.2 Analisis Dinding Turap Berjangkar

Anggap-anggapan yang diambil dalam perancangan dinding turap dengan perletakan bebas adalah :

1. Dinding turap mempunyai kekuatan yang cukup baik dibandingkan dengan tanah disekelilingnya.

2. Tekanan tanah yang bekerja pada dinding turap dihitung berdasarkan kondisi Rankine atau Coulomb.
3. Dinding turap bebas berotasi pada jangkar, tetapi tidak diperkenankan terjadi pergerakan lateral.
4. Perletakan pada kedalaman D mempunyai momen = 0, hal ini berarti bahwa penetrasi dari dinding tidak cukup dalam.

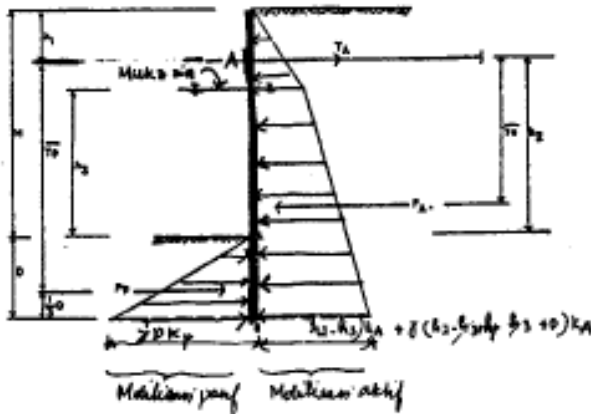


Gambar 2. 17 Dinding Turap Berjangkar dengan Perletakan Bebas

Metode ini dapat digunakan baik untuk tanah berbutir kasar maupun tanah berbutir halus. Sedangkan hubungannya dengan angka keamanan, dengan berdasarkan cara konvensional, dapat diambil sebagai berikut :

Tabel 2. 10 Angka Keamanan untuk Tanah Berbutir Kasar

Kedalaman hasil perhitungan	Kedalaman pelaksanaan	angka keamanan
D	$D\sqrt{2}$	1,7
D	Didapat dengan reduksi nilai K_p dengan angka keamanan 2 sampai 3	2 sampai 3
D	D (1,5 sampai 2)	1,5 sampai 2
D	Didapat dengan reduksi nilai c tanah dengan angka keamanan 1,5 s/d 2.	1,5 sampai 2



Gambar 2. 18 Tekanan-Tekanan yang Bekerja pada Dinding Turap Berjangkar dengan Perletakan Bebas pada Tanah Berbutir Kasar

Mencari besarnya gaya jangkar T_A

$$\sum H = 0$$

$$T_A + P_p - P_a = 0$$

$$T_a = P_a - P_p \quad (2.25)$$

Untuk mengetahui dalamnya pemancangan D, diambil:

$$\sum M_a = 0$$

$$P_a \cdot y_a - P_p \cdot y_p = 0$$

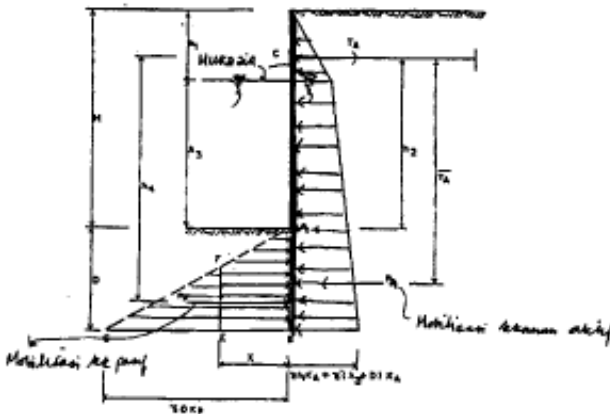
Akan diperoleh persamaan pangkat tiga dalam D

$$\alpha_1 D^3 + \alpha_2 D^2 + \alpha_3 D + \alpha_4 = 0 \quad (2.26)$$

Dengan cara coba-coba diperoleh harga D.

Diagram tegangan di atas dapat juga dibuat diagramnya sebagai berikut :

(dengan melakukan super posisi)



Gambar 2. 19 Tekanan-Tekanan yang Bekerja pada Dinding Turap Berjangkar dengan Perletakan Bebas pada Tanah Berbutir Kasar dengan Super Posisi

Seperti cara didepan, akan diperoleh pada :

- Gaya jangkar

$$\sum H = 0$$

$$T_a + P_p - P_A = 0$$

- Dalamnya pemancangan D diperoleh dari

$$\sum M_a = 0$$

$$P_p h_4 = P_a \cdot y_a$$

$$P_a \cdot y = 0,5 \gamma' D_o^2 (K_p \cdot K_a) (h_2 + y_o + 2/3 \cdot D_o)$$

Persamaan ini akan menghasilkan persamaan pangkat tiga dalam D_o , dengan bentuk umum persamaan sebagai berikut :

$$C_1 D_o^3 + C_2 D_o^2 + C_3 D_o + C_4 = 0 \quad (2.27)$$

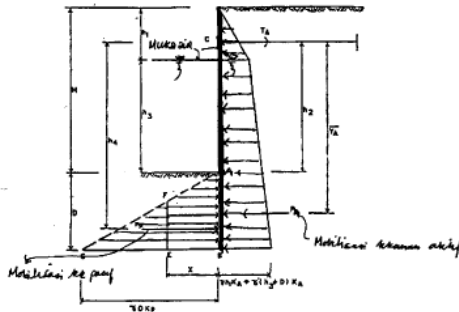
Dimana,

$$C_1 = \frac{\gamma(K_p - K_a)}{3}$$

$$C_2 = \frac{\gamma(K_p - K_a)}{2} (h + y_o)$$

$$C_1 = P_A \cdot y$$

Cara 2, mencari dalamnya pemancangan dengan memberikan factor keamanan pada K_p

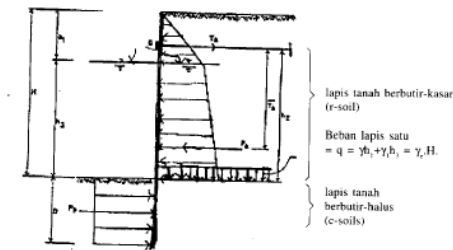


Gambar 2. 20 Distribusi Tegangan dengan Factor Keamanan pada K_p

Misalnya tegangan pasif yang diperhitungkan diwakili dengan segi empat ABFE, biasanya dalam perhitungan, tidak dipertimbangkan kinerja fisik mobilisasi tegangan. Jadi diagram tegangan tetap segitiga ABG, dengan luas diagram tetap dan titik tangkap gaya juga tetap, yang berbeda hanya mobilisasi tekanan dengan besar mobilisasi tergantung angka keamanan SF yang diambil.

Sehingga gaya pasif beserta dengan titik tangkapnya diketahui. Dengan cara yang sama, besarnya gaya anker (TA) diketahui dari persamaan gaya horizontal $\sum H = 0$, dan dalamnya pemancang (Do) diperoleh dengan mengambil $\sum MA = 0$. Harga Do juga didapat dengan pemancangan (Do) diperoleh dengan mengambil $\sum MA = 0$ yang merupakan persamaan pangkat tiga dalam Do.

Dinding turap berjankar dengan perletakan bebas pada tanah berbutir halus.



Gambar 2.21 Tekanan-Tekanan yang Bekerja untuk Tanah Berbutir Halus

Pada gambar di atas terlihat adanya dua lapis tanah, yaitu lapis di atas dredge line adalah tanah berbutir kasar, sedangkan di bawah dredge line adalah tanah berbutir halus. Untuk kasus ini, tanah di atas dredge line dapat dipandang sebagai beban

$$q = \gamma h_1 + \gamma' h_2 = \gamma_e \cdot H$$

Tegangan tanah aktif yang bekerja pada tanah di bawah dredge line, $P_p = Q_w$

Resultan tegangan aktif dan pasif,

$$P = 2 q_2 - q$$

Harga ini konstan untuk setiap kedalaman.

Untuk mendapatkan dalamnya pemancangan, diambil momen terhadap G, yaitu :

$$\sum M_G = 0$$

$$P_A \cdot y \cdot D (2 q_w - q)(h_2 + D/2) = 0$$

Jika persamaan ini diselesaikan, akan diperoleh persamaan pangkat dua dalam D

$$D^2 + C_1 D + C_2 = 0 \quad (2.28)$$

Dimana,

$$C_1 = 2 h_2$$

$$C_2 = \frac{2 y P_a}{2 q_u - q}$$

Sedangkan gaya jangkar didapatkan dengan mengambil $\sum H = 0$

$$T_a = P_a - P_p$$

Dari persamaan bisa dilihat bahwa turap akan mulai labil bila,

$$2 q_u - q = 0$$

$$4c - q = 0$$

Dimana $q = \gamma_c H$ atau bisa dituliskan γH , sehingga persamaan diatas menjadi

$$4c = \gamma H$$

$$\frac{c}{\gamma H} = \frac{1}{4} Nz = \text{stability number} = \text{angka stabilitas}$$

$$\text{Maka } Ns = c / \gamma H = 0,25$$

Jadi stabilitas disini merupakan fungsi dari tinggi turap H dan harga c, apabila harga adhesi dari dinding diperhitungkan ca, maka *stability* nomernya menjadi

$$Nz = \frac{c}{\gamma H} \sqrt{1 + \frac{ca}{c}}$$

$$\text{Pada keruntuhan pasif, harga } \sqrt{1 + \frac{ca}{c}} = 1,25$$

Maka Ns menjadi,

$$Nz = \frac{c}{\gamma H} 1,25 \quad (2.29)$$

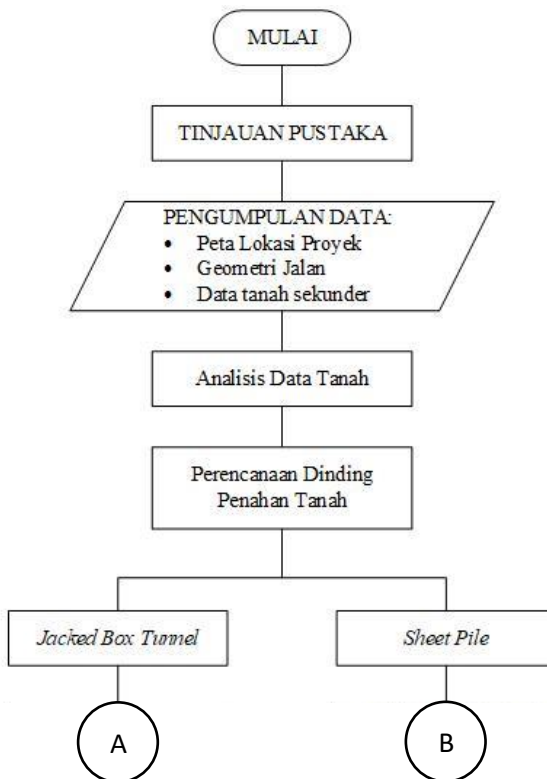
Untuk angka keamanan FS = 1

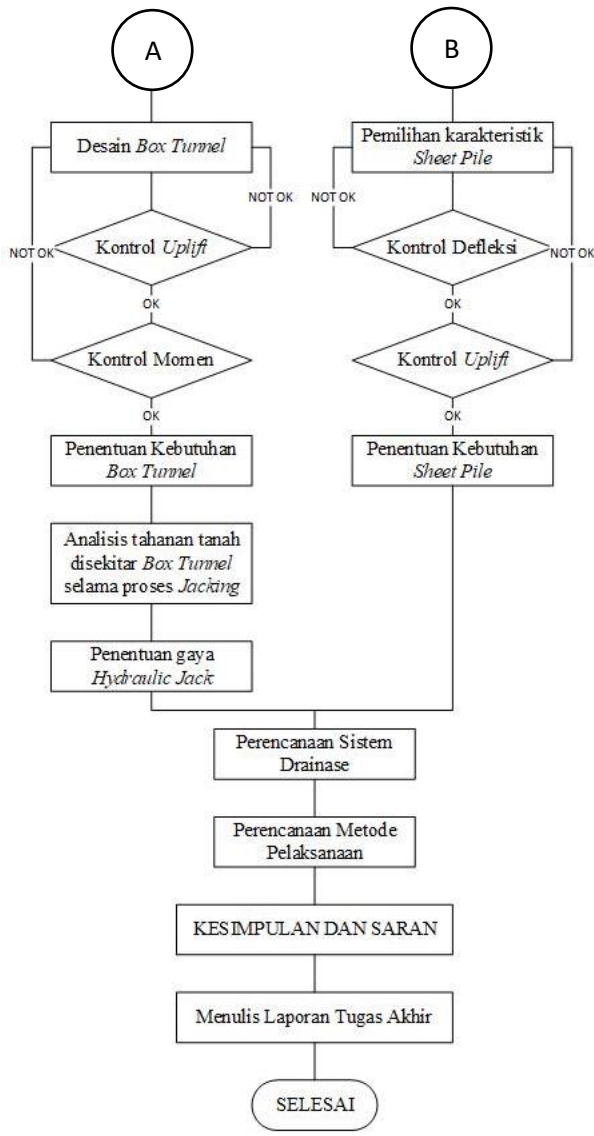
$$\frac{c}{\gamma H} = 0,25$$

$$\text{Jadi } Nz = 0,3 \text{ FS}$$

BAB III METODOLOGI

Gambar 3.1 merupakan bagan alir dalam penulisan Tugas Akhir Perencanaan *Underpass* Simpang Mandai Makassar dengan metode *Jacked Box Tunnel*.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Tugas Akhir

Berikut adalah penjelasan mengenai Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir :

1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang dimaksud berupa pengumpulan materi-materi yang akan digunakan sebagai bahan acuan dalam melakukan perencanaan. Bahan studi yang akan digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut :

1. Referensi mengenai stabilitas lereng
2. Teori tentang *Jacked Box Tunnel*
3. Teori tentang *Sheet Pile*

2. Pengumpulan dan Analisis Data

Data-data yang digunakan meliputi:

1. *Layout* proyek dan peta topografi
2. Data tanah sekunder pada lokasi proyek
3. Geometri jalan pada lokasi proyek

3. Perencanaan *Jacked Box Tunnel*

Perencanaan *Jacked Box Tunnel* sebagai dinding penahan tanah *Underpass* di area tertutup meliputi dimensi *Box Tunnel*, kedalaman letak *Box Tunnel*, *Sliding Plate*, dan kabel prategang pengikat antar segmen. Analisis stabilitas tanah yang direncanakan menghasilkan *Safety Factor* (SF) lebih besar atau sama dengan 1,5.

4. Perencanaan *Sheet Pile*

Perencanaan *Sheet Pile* sebagai dinding penahan tanah *Underpass* di area terbuka meliputi kedalam dan jenis *Sheet Pile* yang dipakai. Analisis stabilitas tanah

yang direncanakan menghasilkan *Safety Factor* (SF) lebih besar atau sama dengan 1,5.

5. Analisis Tahanan Tanah disekitar *Box Tunnel*

Menganalisis tahanan tanah disekitar *Box Tunnel* karena proses *Jacking Box Tunnel* ke dalam tanah akan mengakibatkan termobilisasinya tahanan tanah. Analisis tahanan tanah meliputi tahanan tanah dinding atas, tahanan tanah dinding samping, tahanan tanah bawah, dan tahanan tanah *Nose Blade*.

6. Penentuan Gaya *Hydraulic Jack*

Menentukan gaya *Hydraulic Jack* yang dibutuhkan untuk mendorong *Box Tunnel* ke dalam tanah agar *Box Tunnel* dapat masuk kedalam tanah dan tidak menggeser tanah disekitar *Box Tunnel*.

7. Perencanaan Sistem Drainase

Merencanakan sistem drainase dalam proyek *Underpass* agar tidak ada genangan air atau terjadi banjir dalam *Underpass*.

8. Perencanaan Metode Pelaksanaan

Merencanakan metode pelaksanaan yang sesuai dalam pembangunan *Underpass* dengan *Jacked Box Tunnel* yang dipasang di *Underpass* area tertutup dan *Sheet Pile* yang dipasang di *Underpass* area terbuka.

9. Kesimpulan

Pada bab ini dipaparkan perencanaan *Underpass* Samping Mandai dengan metode *Jacked Box Tunnel*.

BAB IV DATA DAN ANALISIS

4.1 Data Tanah

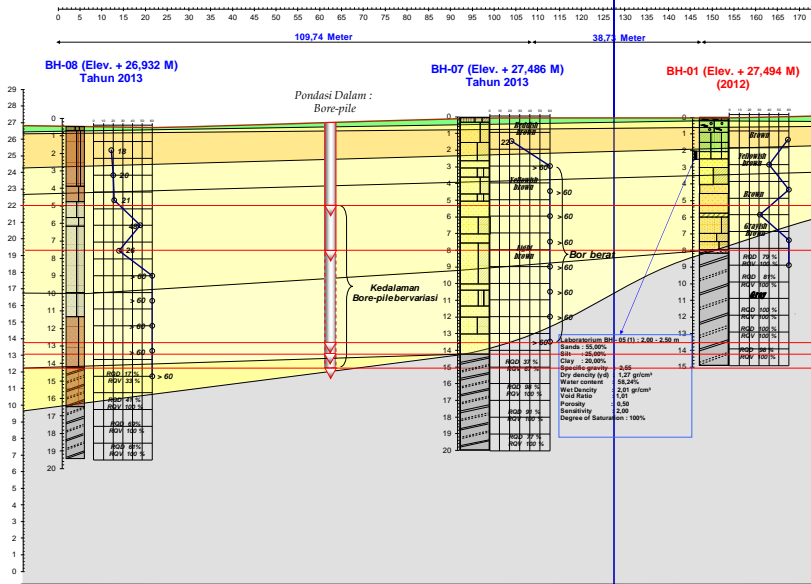
Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data *boring* dan *SPT* dari laporan hasil penyelidikan tanah proyek pembangunan *Underpass* Simpang Mandai Makassar, Sulawesi Selatan yang dilakukan oleh tim geoteknik proyek pembangunan *Underpass* Simpang Mandai Makassar pada tahun 2012 hingga 2013. Data *boring* dan *SPT* yang tersedia sebanyak 8 (delapan) titik pemboran dengan kedalaman yang bervariasi mulai dari 15,00 m hingga 27,00 m yaitu BH-01 sampai dengan BH-08. Data penyelidikan tanah tersebut terdiri dari BH-01 sampai dengan BH-08, yang dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran 1.

Sampel tanah asli (*undisturbed sample*) diambil dari 8 titik bor, yaitu BH-01, BH-02, BH-03, BH-04, BH-05, BH-06, BH-07, dan BH-08 seperti pada Gambar 4.1. Berdasarkan 8 titik bor tersebut dapat dibuat penampang lapisan tanah yang dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran 2. Sebagai contoh hasil stratigrafi tanah pada titik BH-08 dan BH-07 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



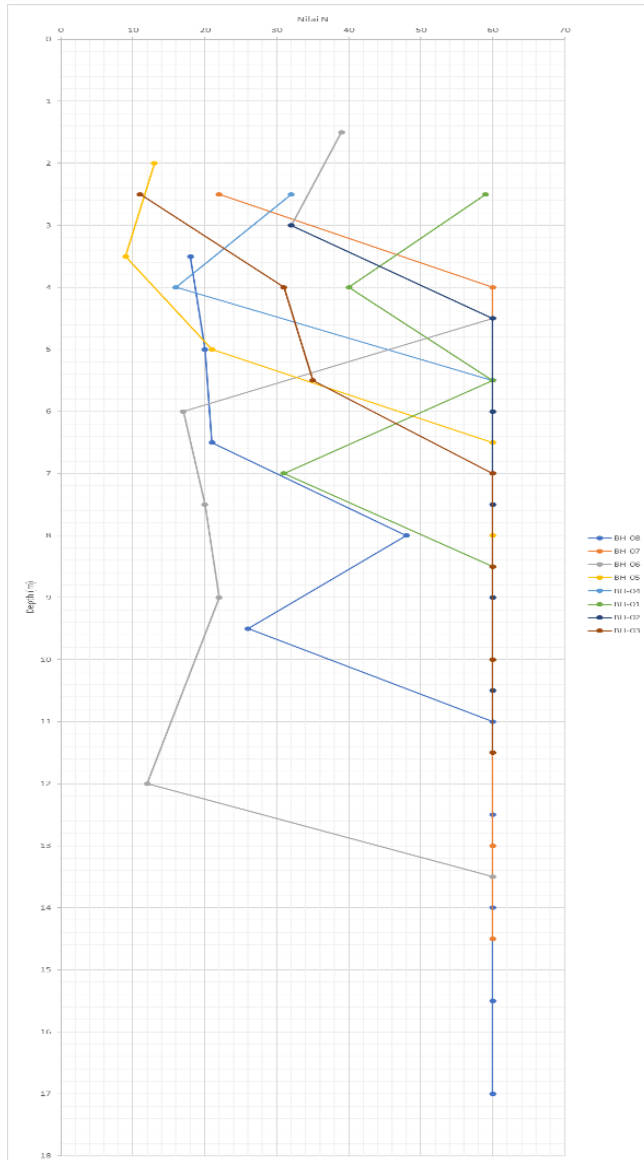
Gambar 4. 1 Layout Lokasi Titik Bor

(sumber: Gambar Proyek *Underpass* Simpang Mandai
Makassar)



Gambar 4.2 Stratigrafi Tanah BH-08 & BH-07

Setelah dibuat stratigrafi tanah berdasarkan 8 titik bor yang ada, maka untuk mengetahui konsistensi dari lapisan-lapisan tanah tersebut dilakukan penggabungan data *borlog* seperti pada Gambar 4.3. Berdasarkan Gambar 4.3 dan 4.2, terlihat bahwa jenis tanah cenderung sama tetapi memiliki konsistensi yang bervariasi.



Gambar 4. 3 Grafik Gabungan Data Borlog di 8 Titik Bor

Sehingga diambil 90% data tanah yang paling kritis di setiap lapisan. Data *borlog* hanya menyediakan nilai N-SPT dan diperlukan parameter-parameter data tanah berupa γ tanah, ϕ (sudut geser) tanah, C_u (kohesivitas tanah), E (Modulus Young) dan ν (Poisson Ratio). Dalam rangka melengkapi parameter-parameter data tanah tersebut, maka diperlukan metode korelasi. Nilai berat jenis tanah (γ), sudut geser tanah (ϕ), dan modulus young (E) menggunakan tabel korelasi N-SPT (J.E. Bowles, 1984) sesuai dengan tabel 2.5. Nilai kohesivitas tanah (C_u) menggunakan grafik hubungan N-SPT dengan nilai C_u (K.Terzaghi, 19) sesuai dengan Gambar 2.2, sedangkan nilai kohesivitas tanah efektif (C') sama dengan $2/3$ dari nilai C_u . Nilai *poisson ratio* menggunakan korelasi jenis tanah dengan *poisson ratio* (J.E. Bowles, 1984) sesuai dengan Tabel 2.6. Rekapitulasi data tanah yang digunakan dapat dilihat di Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Rekapitulasi Data Tanah yang Digunakan

Depth (m)	N-SPT	γ (t/m ³)	ϕ	C_u (t/m ²)	E (Mpa)	ν
0 - 3	13	1.755555556	0	8	10.8	0.2
3 - 4.5	16	1.505263158	30.10526316	0	12.6	0.2
4.5 - 7.5	18	1.547368421	30.94736842	0	16.5	0.2
7.5 - 9	32	1.621052632	30.52631579	0	23.5	0.2
9 - 10.5	21	1.610526316	32.21052632	0	18	0.2
10.5 - 16.5	38	1.747368421	33.68421053	0	26.5	0.2

4.2 Data untuk Desain dan Analisis

4.2.1 Data Beban

Pembebanan struktur *Box Tunnel* yang digunakan dalam perencanaan mengacu pada Standar Pembebanan untuk Jembatan, yang mencakup :

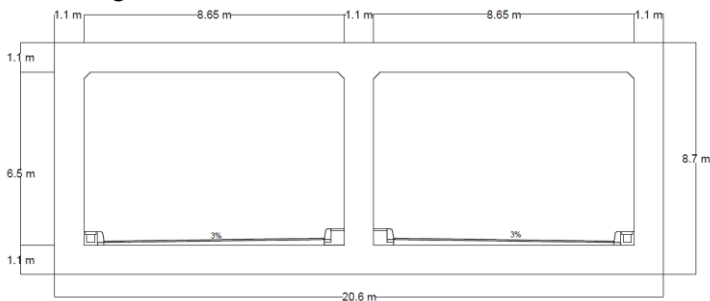
- Beban Mati;
 - a. Beton Bertulang : 2400 kg/m³
 - b. Baja Struktural : 7850 kg/m³
 - c. Perkerasan Jalan : 2000 kg/m³
 - d. Aspal : 2200 kg/m³

- e. Zynclaume sheets : 7790 kg/m^3 ($t=0.35\text{mm}$)
- Beban Hidup;
 - a. Beban Lalu Lintas : 1500 kg/m^3
 - b. Beban Konstruksi : 500 kg/m^3
- Beban dan Tekanan Tanah
- Gaya *Jacking*
 - a. Kapasitas *Hydraulic Jack* : 10000 kN

4.2.2 Data Spesifikasi Bahan

4.2.2.1 Box Tunnel

Jenis *Box Tunnel* yang digunakan dalam perencanaan adalah beton bertulang. Asumsi *Preliminary Design Box Tunnel* yang digunakan seperti pada Gambar 4.4 dengan spesifikasi *Box Tunnel* sebagai berikut:



Gambar 4. 4 Asumsi Preliminary Design Box Tunnel

➤ Ukuran *Box Tunnel*:

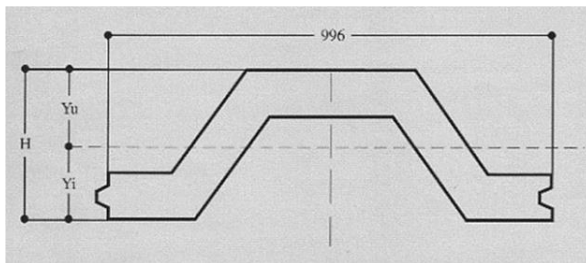
Panjang per Segmen	: 10 m
Lebar	: 20.6 m
Tinggi	: 8.7 m
Lebar Bersih per Jalur	: 8.65 m
Tinggi Bersih	: 6.5 m
Tebal Pelat Atas	: 1.1 m
Tebal Pelat Dinding	: 1.1 m
Tebal Pelat Bawah	: 1.1 m

➤ *Material Box Tunnel:*

Mutu Beton (f'_c)	: 40 Mpa
Berat Jenis	: 24 kN/m ³
Mutu Baja (f_y)	: 420 Mpa

4.2.2.2 Sheet Pile Beton

Tipe sheet pile	=Corrugated Type W-600 A1000
Section Modulus	= 25530 cm ³
Momen Inersia	= 765907 cm ⁴



Gambar 4. 5 Penampang Profil Sheet Pile Beton

(sumber : Katalog Sheet Pile PT. Wijaya Karya Beton)
Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

BAB V

PERENCANAAN GEOTEKNIK

5.1 Perencanaan *Jacked Box Tunnel*

Perencanaan *Jacked Box Tunnel* dilakukan pada area tertutup *underpass* seperti pada Gambar 5.1. *Box Tunnel* direncanakan terletak pada kedalaman 4 m dibawah permukaan tanah dengan asumsi pada kedalaman tersebut sudah tidak ada lagi kabel listrik maupun pipa pengairan. *Box Tunnel* terdiri atas Plat atas, dinding, dan bawah. *Preliminary design Box Tunnel* sesuai dengan Gambar 4.4.



Gambar 5. 1 *Layout Underpass*

Berikut tahapan dalam perencanaan *Jacked Box Tunnel* :

1. Menghitung nilai tekanan tanah disekitar *Box Tunnel*. Perhitungan nilai tekanan tanah disekitar *box tunnel* menggunakan nilai tekanan tanah dalam keadaan diam (*at rest*) sesuai dengan persamaan 2.15. Hasil perhitungan nilai tekanan tanah ditunjukkan dalam Lampiran.

Tekanan tanah pada kedalaman 4.5 m;

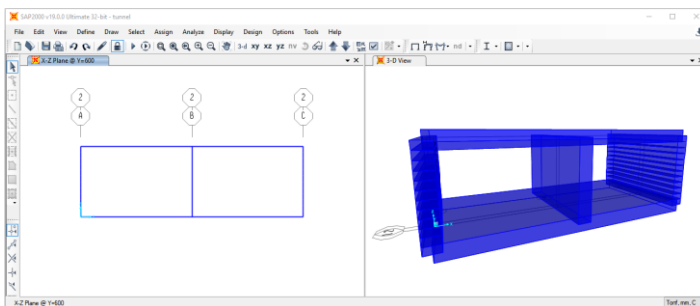
$$\begin{aligned}\sigma_v &= \text{Surcharge} + \gamma_1 \cdot Z_1 + \gamma_2 \cdot Z_2 \\ &= 1.5 + (\gamma_{t1}) \cdot 3 + (\gamma_{t2}) \cdot 1.5 \\ &= 1.5 + (1.75) \cdot 3 + (1.505) \cdot 1.5 \\ &= 9.0075 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_0 &= 1 - \sin\Phi \\ &= 1 - \sin(30.105^\circ) \\ &= 0.498409\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_h &= \sigma_v \times K_0 \\ &= 4.52456 \times 0.498409 \\ &= 1.5017 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

2. Membuat permodelan struktur *Box Tunnel* dengan menggunakan *software* SAP2000.

Permodelan struktur *Box Tunnel* dilakukan dengan memasukkan data perencanaan sesuai dengan pembahasan di bab IV. Permodelan SAP2000 *Box Tunnel* ditunjukkan dalam Gambar 5.2. Karena *Box Tunnel* terletak didalam tanah maka diberikan *springs* di setiap 0.5 m. Koefisien *springs* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10. Rekapitulasi nilai koefisien *springs* ditunjukkan dalam Tabel 5.1.



Gambar 5. 2 Permodelan *Box Tunnel* Dengan Program SAP2000

Koefisien *springs* plat atas pada kedalaman 4 m;

$$\begin{aligned}
 K_s &= \frac{E_s}{B \cdot (1 - \nu_s^2)} \\
 &= \frac{12.6 \times 100}{1.1 \times (1 - 0.2^2)} \\
 &= 1193.1818 \text{ t/m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Nilai Koefisen Springs

Depth (m)	Ks Plat Atas (line springs) (t/m3)	Ks Plat Dinding (point springs) (t/m3)	Ks Plat Bawah (line springs) (t/m3)
4	1193.181818	1193.181818	
4.5		1562.5	
5		1562.5	
5.5		1562.5	
6		1562.5	
6.5		1562.5	
7		1562.5	
7.5		2225.378788	
8		2225.378788	
8.5		2225.378788	
9		1704.545455	
9.5		1704.545455	
10		1704.545455	
10.5		2509.469697	2509.469697

- Menentukan besar nilai momen, gaya aksial, dan gaya geser yang terjadi pada *Box Tunnel*.

Nilai momen, gaya aksial, dan gaya geser yang terjadi pada *Box Tunnel* didapatkan melalui *software* SAP2000. Nilai tersebut digunakan sebagai dasar dalam merencanakan penulangan yang dibutuhkan oleh *Box Tunnel*. Rekapitulasi nilai momen dan gaya aksial yang terjadi ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Nilai Momen Dan Gaya Aksial Yang Terjadi Pada Box Tunnel.

Jenis Plat	Momen (t.m)		Gaya Aksial (ton)	Gaya Geser (ton)
	Tumpuan	Lapangan		
Plat Atas	976565.43	526285.37	199.839	548.4123
Plat Dinding	634132.62		499.081	199.84
Plat Bawah	622678.32	335149.34	102.4302	349.3246

4. Menghitung kebutuhan tulangan *Box Tunnel*
Perhitungan kebutuhan tulangan *Box Tunnel* menggunakan SNI 2847-2013 sebagai dasar utama. Perencanaan tulangan *Box Tunnel* yang terdiri atas penulangan plat atas, plat dinding, dan plat bawah dibahas lebih lanjut di Sub Bab 5.1.1, 5.1.2, dan 5.1.3.
5. Melakukan kontrol terhadap defleksi
Nilai defleksi *Box Tunnel* didapatkan melalui program bantu SAP2000 dan Plaxis. Nilai defleksi tidak boleh melebihi batas defleksi yang sudah ditetapkan berdasarkan Tabel 2.10. Rekapitulasi nilai defleksi yang terjadi di *Box Tunnel* ditunjukkan dalam Tabel 5.2.

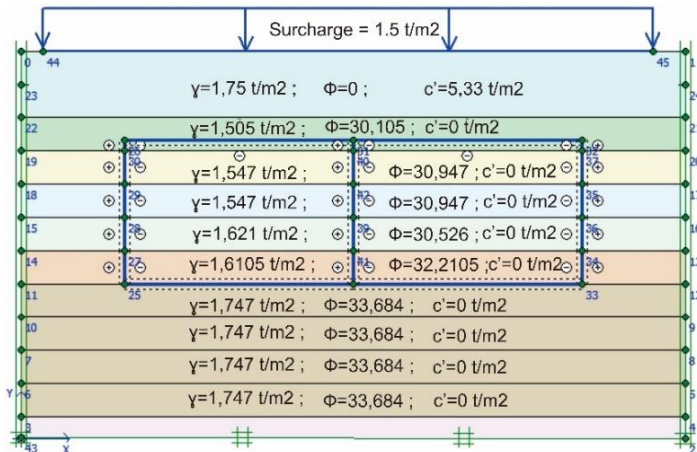
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Nilai Defleksi Yang Terjadi

Jenis Plat	SAP2000 (mm)	Plaxis (mm)
Plat Atas	1.593935	4.18
Plat Dinding	0.007567	3.53
Plat Bawah	1.012385	4.62

6. Melakukan kontrol terhadap *uplift pressure*
Kontrol terhadap *uplift pressure* dilakukan agar *Box Tunnel* aman terhadap gaya angkat. Perhitungan kontrol terhadap *uplift pressure* dibahas lebih lanjut di Subbab 5.1.4
7. Menghitung gaya *Jack* yang dibutuhkan
Gaya *jack hydraulic* yang dibutuhkan harus sesuai dengan analisis tahanan tanah. Kemudian dapat dihitung gaya *jack hydraulic* serta jumlah *jack hydraulic* yang dibutuhkan. Perhitungan gaya *jack hydraulic* yang dibutuhkan dibahas lebih lanjut di Subbab 5.15

5.1.1 Perencanaan Plat Atas *Box Tunnel*

Plat Atas *Box Tunnel* direncanakan menerima beban mati dan beban hidup seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.3 dengan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.2.(1), yaitu:



Gambar 5. 3 *Sketsa Lapisan Tanah Dan Beban Yang Bekerja Pada Plat Atas Box Tunnel*

1. Beban Mati (DL)

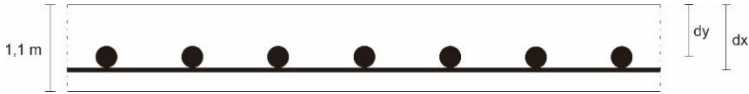
Plat = Tebal Plat x γ_{beton}
 = 1.1 m x 2400 kg/m³
 = 2640 kg/m²
2. Beban Hidup (LL)

Tanah (σ_v) = Surcharge + $\gamma_1 \cdot Z_1 + \gamma_2 \cdot Z_2$
 = 1.5 + (γ_{t1}) . 3 + (γ_{t2}) . 1
 = 1.5 + (1.75) . 3 + (1.505) . 1
 = 8.255 t/m²
 = 8255 kg/m²
3. Kombinasi Pembebanan

Qu = 1.2DL + 1.6LL
 = 1.2 x 2640 + 1.6 x 8255
 = 16376 kg/m²

Penulangan Plat Atas Box Tunnel

Dimensi plat atas seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4



Gambar 5.4 Dimensi Plat Atas Box Tunnel

- $L_y/L_x = 1000/1000$
 $= 1 < 2$ (plat 1 arah)
- $dx = t \text{ plat} - \text{cover} - \frac{1}{2}\phi$
 $= 1100 - 40 - 0.5 \times 20$
 $= 1050 \text{ mm}$
- $dy = t \text{ plat} - \text{cover} - \phi - \frac{1}{2}\phi$
 $= 1100 - 40 - 20 - 0.5 \times 20$
 $= 1030 \text{ mm}$
- $\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \text{ atau } \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y}$
 $= \frac{1.4}{420}$
 $= 0.00333$
- $\rho_{\min} = \frac{\sqrt{40}}{4 \times 420}$
 $= 0.027806$
- $\beta_1 = 0.85 - 0.05\left(\frac{f'_c - 280}{70}\right) \geq 0.65$
 (Karena $f'_c > 280 \text{ kg/cm}^2$)
 $= 0.85 - 0.05\left(\frac{400 - 280}{70}\right)$
 $= 0.7786$
- $\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$
 $= \frac{0.85 \times 40 \times 0.7786}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$
 $= 0.03707483$
- $\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_{\text{balance}}$
 $= 0.75 \times 0.03707483$
 $= 0.027806$

Penulangan Arah x (Lapangan)

Penulangan arah x (lapangan) pada plat atas *Box Tunnel* direncanakan menggunakan Ø20. Nilai momen lapangan pada plat atas *Box Tunnel* melalui *software* SAP2000. Perhitungan penulangan plat atas *Box Tunnel* sebagai berikut.

- $M_u = 5161096571 \text{ Nmm}$
- $m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{420}{0.85 \times 40} = 12.35294118$
- $R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{5161096571}{0.9 \times 1000 \times 1050^2} = 5.2$
- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{12.35294118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35294118 \times 5.2}{420}} \right) = 0.013512 > \rho_{\text{min}}$
- $\rho_{\text{pakai}} = 0.013512$

Sehingga didapatkan:

- $A_{S\text{perlu}} = \rho \times b \times d = 0.013512 \times 1000 \times 1050 = 14187.56 \text{ mm}^2$
- $S_{\text{maks}} = 180 \text{ mm (SNI 2847 pasal 7.6.5)}$
- $n \text{ tulangan} = \frac{A_{S\text{perlu}}}{A_{S\text{tulangan}}} = \frac{14187.56}{314.16} = 45.16 \approx 46$
- $S_{\text{tulangan}} = 21.73913043 \text{ mm}$
- $S_{\text{pakai}} = 50 \text{ mm}$
- $A_{S\text{pasang}} = n \text{ tulangan} \times A_{S\text{tulangan}}$

$$\begin{aligned}
 &= 46 \times 314.16 \\
 &= 14451.33 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan lentur D20-50

Penulangan Arah x (Tumpuan)

Penulangan arah x (Tumpuan) pada plat atas *Box Tunnel* direncanakan menggunakan Ø20. Nilai momen tumpuan pada plat atas *Box Tunnel* melalui *software* SAP2000. Perhitungan penulangan plat atas *Box Tunnel* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M_u &= 9576835552 \text{ Nmm} \\
 \bullet \quad m &= \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} \\
 &= \frac{420}{0.85 \times 40} \\
 &= 12.35294118 \\
 \bullet \quad R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\
 &= \frac{9576835552}{0.9 \times 1000 \times 1050^2} \\
 &= 9.65 \\
 \bullet \quad \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{12.35294118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35294118 \times 9.65}{420}} \right) \\
 &= 0.0277 > \rho_{\text{min}} \\
 \bullet \quad \rho_{\text{pakai}} &= 0.0277
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0.0277 \times 1000 \times 1050 \\
 &= 29115.70 \text{ mm}^2 \\
 \bullet \quad S_{\text{maks}} &= 180 \text{ mm (SNI 2847 pasal 7.6.5)} \\
 \bullet \quad n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{ tulangan}}} \\
 &= \frac{29115.70}{314.16}
 \end{aligned}$$

- $= 92.68 \approx 93$
- $S_{\text{tulangan}} = 10.75268817 \text{ mm}$
- $S_{\text{pakai}} = 50 \text{ mm}$
- $A_{\text{spasang}} = n \text{ tulangan} \times A_{S_{\text{tulangan}}}$
 $= 93 \times 314.16$
 $= 29216.81 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} \text{ (OK)}$

Jadi, digunakan tulangan lentur D20-50

Perhitungan Tulangan Bagi

- $A_{S_{\text{min}}} = \rho_{\text{min}} \times A_{\text{S bruto}}$
 $= 0.0033 \times 1100 \times 10300$
 $= 37767 \text{ mm}^2$
- $n_{\text{tulangan}} = \frac{A_{S_{\text{min}}}}{A_{S_{\text{tulangan}}}}$
 $= \frac{37767}{1075.2}$
 $= 35.125 \approx 36$
- $S_{\text{tulangan}} = \frac{1000}{n_{\text{tulangan}}}$
 $= \frac{1000}{36}$
 $= 27.778 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$
- $A_{\text{spasang}} = 38708 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{min}}} \text{ (OK)}$

Digunakan tulangan bagi Ø37-50 mm

Kontrol Momen Retak

- $\lambda = 1$
- $I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3$
 $= \frac{1}{12} \times 10300 \times 1100^3$
 $= 1.14 \times 10^{12} \text{ mm}^4$
- $y_t = 1100/2$
 $= 550 \text{ mm}$
- $f_r = 0.62 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}$

$$\begin{aligned}
 &= 0.62 \times 1 \times \sqrt{40} \\
 &= 3.912242 \\
 \bullet \quad M_{cr} &= \frac{f_r \times I_g}{y_t} \\
 &= \frac{3.912242 \times 1.14 \times 10^{12}}{550} \\
 &= 8145036406 \text{ Nmm} > M_u = 5161096571 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Lebar Retak

Nilai lebar retak plat atas *Box Tunnel* didapatkan melalui persamaan 2.15. Nilai lebar retak yang didapatkan tidak boleh melewati batas nilai retak yang telah ditetapkan sesuai dengan Tabel 2.10.

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \beta &= 1.2 \\
 \bullet \quad f_s &= 0.6 \times f_y \\
 &= 0.6 \times 420 \\
 &= 252 \text{ N/mm}^2 = 36.55 \text{ ksi} \\
 \bullet \quad d_c &= \text{tebal selimut beton} = 40 \text{ mm} \\
 &= 1.5748 \text{ in} \\
 \bullet \quad A &= \frac{b \times 2 \times (h_p - d_x)}{n \text{ tulangan} \times b} \\
 &= \frac{10300 \times 2 \times (1100 - 1050)}{46 \times 10300} \\
 &= 2.173913043 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0034 \text{ in}^2 \\
 \bullet \quad W_{maks} &= 0.076 \times \beta \times f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} \\
 &= 0.076 \times 1.2 \times 36.55 \times \sqrt[3]{1.5748 \times 0.0034} \\
 &= 0.0006 \text{ in (OK)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Defleksi

Nilai deformasi plat atas *Box Tunnel* didapatkan melalui program bantu SAP2000 dan Plaxis seperti yang ditunjukkan pada

Tabel 5.2. Berdasarkan Tabel 2. mengenai batas deformasi struktur, didapatkan batas nilai deformasi plat beton, maka:

- Program SAP200

$$\delta_{\text{terjadi}} = 1.593 \text{ mm} < \delta_{\text{ijin}} \text{ (OK)}$$

- Program Plaxis

$$\delta_{\text{terjadi}} = 4.18 \text{ mm} < \delta_{\text{ijin}} \text{ (OK)}$$

5.1.2 Perencanaan Plat Dinding *Box Tunnel*

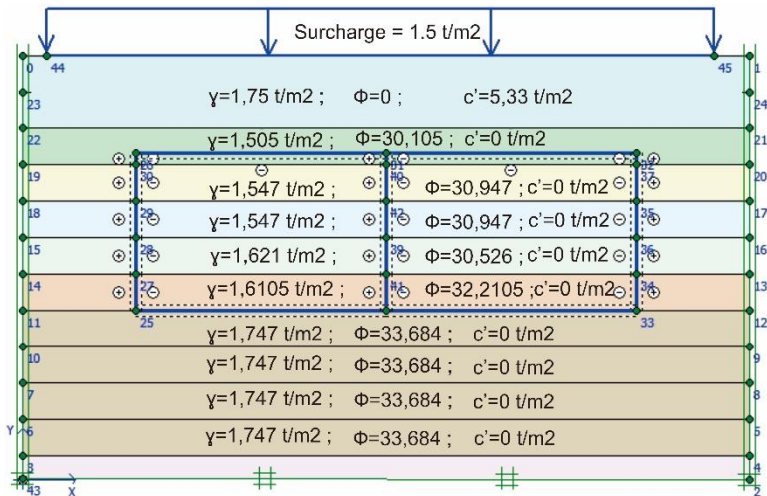
Plat dinding *Box Tunnel* direncanakan menerima beban mati dan beban hidup dengan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.2.(1), yaitu:

1. Beban Mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Plat} &= \text{Tebal Plat} \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 1.1 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 2640 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup (LL)

Plat dinding *Box Tunnel* menerima beban hidup berupa tekanan tanah horizontal *at rest*. Nilai tekanan tanah horizontal *at rest* yang diterima plat dinding *Box Tunnel* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.15. Rekapitulasi tekanan tanah dapat dilihat pada Tabel 5. Sketsa lapisan tanah dan diagram tekanan tanah dapat dilihat di Gambar 5.5 dan 5.6. Contoh perhitungan tekanan tanah horizontal *at rest* sebagai berikut:



Gambar 5. 5 Sketsa Lapisan Tanah

- Menghitung nilai σ_v di setiap lapisan tanah
Pada kedalaman 4.5 m (lapisan 2);

$$\sigma_v = q_{\text{surcharge}} + \gamma_1' \times Z_1 + \gamma_2' \times Z_2$$

$$= 1.5 + (1.755 - 1) \times 3 + (1.505 - 1) \times 1.5$$

$$= 4.52 \text{ t/m}^2$$
- Menghitung nilai K_0
Pada kedalaman 4.5 m (lapisan 2);

$$K_0 = 1 - \sin \Phi$$

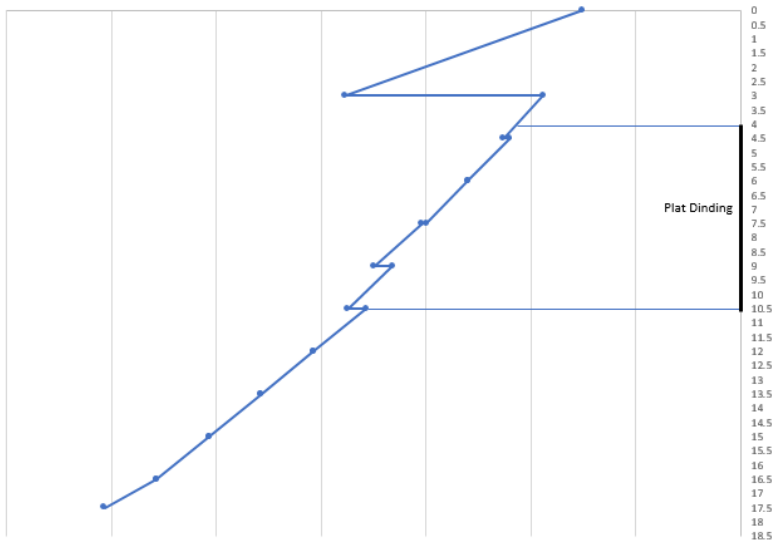
$$= 1 - \sin (30.10526^\circ)$$

$$= 0.498$$
- Menghitung nilai σ_h
Pada kedalaman 4.5 m (lapisan 2);

$$\sigma_h = K_0 \times \sigma_v$$

$$= 0.498 \times 4.52$$

$$= 2.255 \text{ t/m}^2$$



Gambar 5. 6 Diagram Tekanan Tanah Pada Plat Dinding Box Tunnel

- Menghitung nilai P_0 (kedalaman 4.5m sampai 6m)

$$\begin{aligned}
 P_0 &= \frac{1}{2} \times 1.5 \times (\sigma - \sigma) + 1.5 \times \sigma \\
 &= \frac{1}{2} \times 1.5 \times (2.596 - 2.197) + 1.5 \times 2.197 \\
 &= 0.299 + 3.296 \\
 &= 3.595 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

3. Kombinasi Pembebanan

$$Q_u = 1.2DL + 1.6LL$$

Penulangan Plat Dinding Box Tunnel

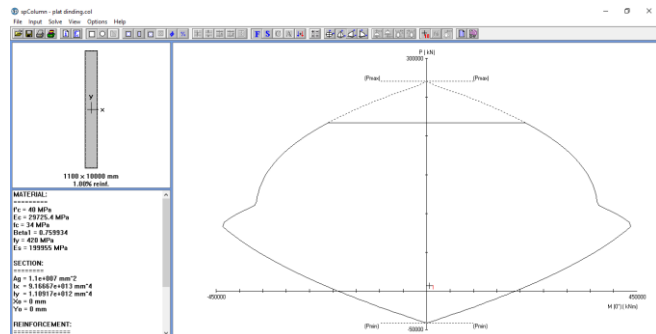
- Tulangan Longitudinal
Perhitungan tulangan longitudinal plat dinding *Box Tunnel* menggunakan program bantu *spColumn*. Program bantu *spColumn* berfungsi untuk menentukan

kebutuhan tulangan longitudinal plat dinding *Box Tunnel* dengan menginput nilai momen dan gaya aksial yang didapatkan dari program SAP2000.

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 6218 \text{ kNm} \\ M_{uy} &= 0 \text{ kNm} \\ P_u &= 6745 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan longitudinal *Box Tunnel* yang didapatkan melalui *output* program *spColumn* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.7 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Top} &= 16\text{Ø}25 \text{ (cover = 40 mm)} \\ \text{Bottom} &= 16\text{Ø}25 \text{ (cover = 40 mm)} \\ \text{Left} &= 94\text{Ø}25 \text{ (cover = 40 mm)} \\ \text{Right} &= 94\text{Ø}25 \text{ (cover = 40 mm)} \end{aligned}$$



Gambar 5.7 Output program *spColumn*

- Tulangan Geser
 Nilai V_u didapat melalui hasil analisis program bantu SAP2000 dengan nilai sebesar 1959.761 KN
 Kekuatan beton:

$$V_c = 0.6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$= 0.6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{40} \times 1000 \times 1050$$

$$= 664078.3086 \text{ N} = 664.0743086 \text{ KN}$$

$V_u > \Phi \cdot V_c$ (Dibutuhkan tulangan geser)

Penulangan Geser Plat Dinding

Direncanakan tulangan geser plat dinding sebagai berikut:

$$\begin{aligned} B &= 1100 \text{ mm} \\ H &= 10000 \text{ mm} \\ \text{Tinggi Plat} &= 6500 \text{ mm} \\ \text{Cover} &= 40 \text{ mm} \\ d \text{ tulangan} &= 25 \text{ mm} (A_s = 490.87 \text{ mm}^2) \\ d \text{ sengkang} &= 25 \text{ mm} (A_s = 490.87 \text{ mm}^2) \\ f_y &= 420 \text{ Mpa} \\ f_c' &= 40 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

S_{\max} (Jarak Tulangan Maksimum) :

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{1}{4} \times B \\ &= 275 \text{ mm} \\ S_{\max} &= 6 \times d \text{ tulangan} \\ &= 150 \text{ mm} \\ S_{\max} &< 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan jarak antar tulangan (S) = 100 mm

$$\begin{aligned} A_g &= 11000000 \text{ mm}^2 \\ A_{ch} &= (H - 2 \times \text{Cover}) \times (B - 2 \times \text{Cover}) \\ &= 100118400 \text{ mm}^2 \\ dx &= H - d \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \times d \text{ tulangan} \\ &= 9940.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{shx} &= 0.3 \frac{s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\ &= 2456.0251 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ashl} &= 0.009 \frac{s.bc.fc'}{f_{yt}} \\ &= 8456.5714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Ash min} = 8456.5714 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan geser 20Ø25 sehingga:

$$\text{As} = 9817.477 \text{ mm}^2 > \text{Ash min} = 8456.5714 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Kontrol Rasio Tulangan Longitudinal

Nilai rasio tulangan longitudinal plat dinding *Box Tunnel* diperoleh dari program bantu *spColumn*.

$$\rho_{\text{tulangan}} = 0.01 \text{ (OK)}$$

Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom Dasar Terhadap Beban Aksial Berfaktor

Nilai beban aksial berfaktor harus lebih besar dari nilai beban aksial plat dinding *Box Tunnel* yang diperoleh dari program bantu SAP2000.

$$\begin{aligned} \phi \cdot P_n &= 0.8 \times \phi \times [0.85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}] \\ &= 0.8 \times 0.65 \times [0.85 \times 40 \times (11000000 - 330000) \\ &\quad + 420 \times 330000] \\ &= 260717600 \text{ N} \\ &= 260717.6 \text{ kNm} > P_u = 6745.417 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol Momen Retak

- $\lambda = 1$
- $I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3$
- $= \frac{1}{12} \times 10300 \times 1100^3$

$$\begin{aligned}
 &= 1.14 \times 10^{12} \text{ mm}^4 \\
 \bullet \quad y_t &= 1100/2 \\
 &= 550 \text{ mm} \\
 \bullet \quad fr &= 0.62 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 0.62 \times 1 \times \sqrt{40} \\
 &= 3.912242 \\
 \bullet \quad M_{cr} &= \frac{fr \times I_g}{y_t} \\
 &= \frac{3.912242 \times 1.14 \times 10^{12}}{550} \\
 &= 8145036406 \text{ Nmm} > Mu = 6218716800 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

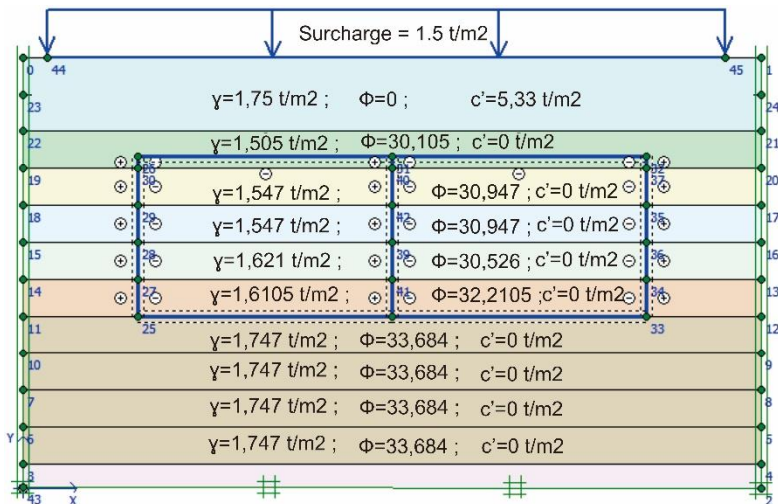
Kontrol Lebar Retak

Nilai lebar retak plat atas *Box Tunnel* didapatkan melalui persamaan 2.15. Nilai lebar retak yang didapatkan tidak boleh melewati batas nilai retak yang telah ditetapkan sesuai dengan Tabel 2.10.

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \beta &= 1.2 \\
 \bullet \quad f_s &= 0.6 \times f_y \\
 &= 0.6 \times 420 \\
 &= 252 \text{ N/mm}^2 = 36.55 \text{ ksi} \\
 \bullet \quad d_c &= \text{tebal selimut beton} = 40 \text{ mm} \\
 &= 1.5748 \text{ in} \\
 \bullet \quad A &= \frac{b \times 2 \times (hp - dx)}{n \text{ tulangan} \times b} \\
 &= \frac{10300 \times 2 \times (1100 - 1050)}{46 \times 10300} \\
 &= 2.173913043 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0034 \text{ in}^2 \\
 \bullet \quad w_{maks} &= 0.076 \times \beta \times f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} \\
 &= 0.076 \times 1.2 \times 36.55 \times \sqrt[3]{1.5748 \times 0.0034} \\
 &= 0.0006 \text{ in (OK)}
 \end{aligned}$$

5.1.3 Perencanaan Plat Bawah *Box Tunnel*

Perhitungan plat bawah *Box Tunnel* direncanakan dengan mengasumsikan plat bawah *Box Tunnel* sebagai pondasi. Sehingga prosedur perhitungan tebal plat (D) menggunakan teori pondasi dangkal. Berdasarkan teori pondasi dangkal, daya dukung tanah harus mampu menahan beban yang ada di atasnya (tanah, plat atas, dan plat dinding). Dari data dan parameter tanah yang telah didapatkan, direncanakan plat bawah *Box Tunnel* seperti Gambar 5.8 berikut:



Gambar 5. 8 Lapisan Dan Parameter Tanah

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} + c' \cdot N_c + (\gamma' \cdot D) \cdot N_q \\
 &= \frac{1}{2} \times 0.7473 \times 20.6 \times 35.047 + 0 \times 41.789 + \\
 &\quad (0.7473 \times 1.1) \times 29.738 \\
 &= 293.94354 \text{ kpa} = 29394.354 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Dalam rangka meningkatkan keamanan, maka nilai daya dukung (q_{ult}) perlu dibagi dengan *safety factor* (faktor kemananan) sebesar 2.5. Sehingga q_{pakai} menjadi;

$$\begin{aligned} q_{pakai} &= \frac{q_{ult}}{SF} \\ &= \frac{29394.354}{2.5} \\ &= 11757.7416 \text{ kg/m}^2 \\ &= 11.758 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Nilai daya dukung tanah (q_{pakai}) harus mampu menerima beban-beban diatasnya. Beban – beban yang dimaksudkan adalah sebagai berikut;

- Tanah (σ_v)

$$\begin{aligned} &= \text{Surcharge} + \gamma'_1 \cdot Z_1 + \gamma'_2 \cdot Z_2 \\ &= 1.5 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \cdot 3 + (\gamma_{t2} - \gamma_w) \cdot 1 \\ &= 1.5 + (1.75-1) \cdot 3 + (1.505-1) \cdot 1 \\ &= 4.27193 \text{ t/m}^2 \times 20.6 \text{ m} \\ &= 88.002 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$
- Plat Atas

$$\begin{aligned} &= \text{Tebal Plat} \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 1.1 \text{ m} \times 2.4 \text{ kg/m}^3 \\ &= 2.64 \text{ kg/m}^2 \times 20.6 \text{ m} \\ &= 54.384 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$
- Plat Dinding

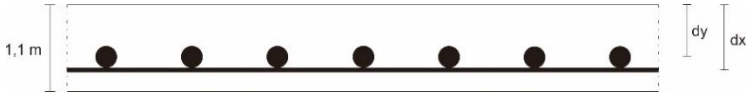
$$\begin{aligned} &= \text{Tebal Plat} \times \gamma_{\text{beton}} \\ &= 1.1 \text{ m} \times 2.4 \text{ kg/m}^3 \\ &= 2.64 \text{ kg/m}^2 \times 6.5 \text{ m} \\ &= 17.16 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Total beban yang diterima oleh tanah adalah

$$\begin{aligned} W &= \text{Tanah} + \text{Plat Atas} + 3 \times \text{Plat Dinding} \\ &= 88.002 + 54.384 + 3 \times 17.16 \\ &= 235.07 \text{ t/m}^2 \\ &= 11.411 \text{ t/m}^2 < q_{pakai} = 11.758 \text{ t/m}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Penulangan Plat Bawah Box Tunnel

Dimensi plat bawah seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9



Gambar 5. 9 Dimensi Plat Bawah Box Tunnel

- $L_y/L_x = 1000/1000$
 $= 1 < 2$ (plat 1 arah)
- $dx = t \text{ plat} - \text{cover} - \frac{1}{2}\phi$
 $= 1100 - 40 - 0.5 \times 20$
 $= 1050 \text{ mm}$
- $dy = t \text{ plat} - \text{cover} - \phi - \frac{1}{2}\phi$
 $= 1100 - 40 - 20 - 0.5 \times 20$
 $= 1030 \text{ mm}$
- $\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \text{ atau } \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y}$
 $= \frac{1.4}{420}$
 $= 0.00333$
- $\rho_{\min} = \frac{\sqrt{40}}{4 \times 420}$
 $= 0.027806$
- $\beta_1 = 0.85 - 0.05\left(\frac{f'_c - 280}{70}\right) \geq 0.65$
 (Karena $f'_c > 280 \text{ kg/cm}^2$)
 $= 0.85 - 0.05\left(\frac{400 - 280}{70}\right)$
 $= 0.7786$
- $\rho_{\text{balance}} = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$
 $= \frac{0.85 \times 40 \times 0.7786}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$
 $= 0.03707483$
- $\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_{\text{balance}}$
 $= 0.75 \times 0.03707483$
 $= 0.027806$

Penulangan Arah x (Lapangan)

Penulangan arah x (lapangan) pada plat bawah *Box Tunnel* direncanakan menggunakan Ø20. Nilai momen lapangan pada plat bawah *Box Tunnel* melalui *software* SAP2000. Perhitungan penulangan plat bawah *Box Tunnel* sebagai berikut.

- $M_u = 3286692327 \text{ Nmm}$
- $m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{420}{0.85 \times 40} = 12.35294118$
- $R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{3286692327}{0.9 \times 1000 \times 1050^2} = 3.31$
- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{12.3529412} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.3529412 \times 3.31}{420}} \right) = 0.00831 > \rho_{\min}$
- $\rho_{\text{pakai}} = 0.00831$

Sehingga didapatkan:

- $A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0.00831 \times 1000 \times 1050 = 8729.13 \text{ mm}^2$
- $S_{\text{maks}} = 180 \text{ mm (SNI 2847 pasal 7.6.5)}$
- $n \text{ tulangan} = \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_{\text{tulangan}}}} = \frac{8729.13}{314.16} = 27.79 \approx 28$
- $S_{\text{tulangan}} = 35.71428571 \text{ mm}$
- $S_{\text{pakai}} = 50 \text{ mm}$
- $A_{S_{\text{pasang}}} = n \text{ tulangan} \times A_{S_{\text{tulangan}}}$

$$\begin{aligned}
 &= 28 \times 314.16 \\
 &= 8796.46 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan lentur D20-50

Penulangan Arah x (Tumpuan)

Penulangan arah x (Tumpuan) pada plat bawah *Box Tunnel* direncanakan menggunakan Ø20. Nilai momen lapangan pada plat bawah *Box Tunnel* melalui *software* SAP2000. Perhitungan penulangan plat bawah *Box Tunnel* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M_u &= 6106388433 \text{ Nmm} \\
 \bullet \quad m &= \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} \\
 &= \frac{420}{0.85 \times 40} \\
 &= 12.35294118 \\
 \bullet \quad R_n &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\
 &= \frac{6106388433}{0.9 \times 1000 \times 1050^2} \\
 &= 6.15 \\
 \bullet \quad \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{12.35294118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12.35294118 \times 6.15}{420}} \right) \\
 &= 0.0163 > \rho_{\text{min}} \\
 \bullet \quad \rho_{\text{pakai}} &= 0.0163
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0.0163 \times 1000 \times 1050 \\
 &= 17106.59 \text{ mm}^2 \\
 \bullet \quad S_{\text{maks}} &= 180 \text{ mm (SNI 2847 pasal 7.6.5)} \\
 \bullet \quad n \text{ tulangan} &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{ tulangan}}} \\
 &= \frac{17106.59}{314.16}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 54.45 \approx 55 \\
 \bullet \quad S_{\text{tulangan}} &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \text{ mm} \\
 &= \frac{1000}{55} \\
 &= 18.181818 \text{ mm} \\
 \bullet \quad S_{\text{pakai}} &= 50 \text{ mm} \\
 \bullet \quad A_{\text{Spasang}} &= n \text{ tulangan} \times A_{\text{Stulangan}} \\
 &= 55 \times 314.16 \\
 &= 17278.76 \text{ mm}^2 > A_{\text{Sperlu}} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Jadi, digunakan tulangan lentur D20-50

Perhitungan Tulangan Bagi

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad A_{\text{Smin}} &= \rho_{\text{min}} \times A_{\text{s bruto}} \\
 &= 0.0033 \times 1100 \times 10300 \\
 &= 37767 \text{ mm}^2 \\
 \bullet \quad n_{\text{tulangan}} &= \frac{A_{\text{s min}}}{A_{\text{s tulangan}}} \\
 &= \frac{37767}{1075.2} \\
 &= 35.125 \approx 36 \\
 \bullet \quad S_{\text{tulangan}} &= \frac{1000}{n \text{ tulangan}} \\
 &= \frac{1000}{36} \\
 &= 27.778 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm} \\
 \bullet \quad A_{\text{Spasang}} &= 38708 \text{ mm}^2 > A_{\text{Smin}} \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan bagi Ø37-50 mm

Kontrol Momen Retak

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \lambda &= 1 \\
 \bullet \quad I_g &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 10300 \times 1100^3 \\
 &= 1.14 \times 10^{12} \text{ mm}^4 \\
 \bullet \quad y_t &= 1100/2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 550 \text{ mm} \\
 \bullet \quad f_r &= 0.62 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 0.62 \times 1 \times \sqrt{40} \\
 &= 3.912242 \\
 \bullet \quad M_{cr} &= \frac{f_r \times I_g}{y_t} \\
 &= \frac{3.912242 \times 1.14 \times 10^{12}}{550} \\
 &= 8145036406 \text{ Nmm} > M_u = 6106388433 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Lebar Retak

Nilai lebar retak plat bawah *Box Tunnel* didapatkan melalui persamaan 2.15. Nilai lebar retak yang didapatkan tidak boleh melewati batas nilai retak yang telah ditetapkan sesuai dengan Tabel 2.10.

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \beta &= 1.2 \\
 \bullet \quad f_s &= 0.6 \times f_y \\
 &= 0.6 \times 420 \\
 &= 252 \text{ N/mm}^2 = 36.55 \text{ ksi} \\
 \bullet \quad d_c &= \text{tebal selimut beton} = 40 \text{ mm} \\
 &= 1.5748 \text{ in} \\
 \bullet \quad A &= \frac{b \times 2 \times (h_p - d_x)}{n \text{ tulangan} \times b} \\
 &= \frac{10300 \times 2 \times (1100 - 1050)}{46 \times 10300} \\
 &= 2.173913043 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0034 \text{ in}^2 \\
 \bullet \quad W_{maks} &= 0.076 \times \beta \times f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} \\
 &= 0.076 \times 1.2 \times 36.55 \times \sqrt[3]{1.5748 \times 0.0034} \\
 &= 0.0006 \text{ in (OK)}
 \end{aligned}$$

Kontrol Defleksi

Nilai deformasi plat atas *Box Tunnel* didapatkan melalui program bantu SAP2000 dan Plaxis seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.2. Berdasarkan Tabel 2. mengenai batas deformasi struktur, didapatkan batas nilai deformasi plat beton, maka:

- Program SAP2000

$$\delta_{\text{terjadi}} = 1.012385 \text{ mm} < \delta_{\text{ijin}} \text{ (OK)}$$

- Program Plaxis

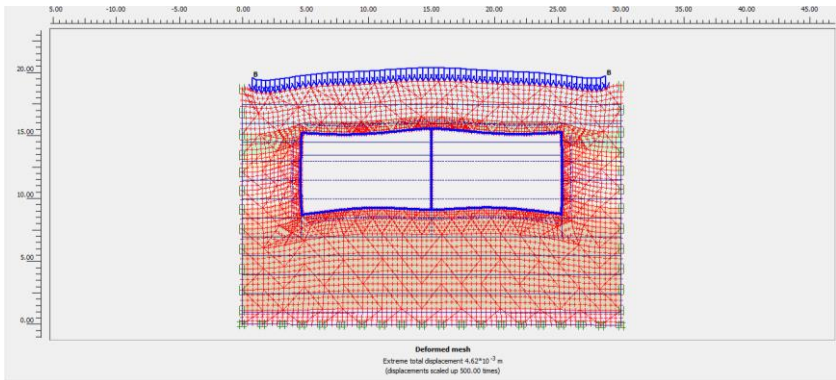
$$\delta_{\text{terjadi}} = 4.62 \text{ mm} < \delta_{\text{ijin}} \text{ (OK)}$$

5.1.4 Kontrol Uplift

Kontrol akibat *uplift pressure* dilakukan pada bagian plat bawah *Box Tunnel* yang menyentuh tanah pada lapisan terdalam. Dilakukan kontrol kestabilan terhadap gaya angkat ke atas akibat tekanan air tanah pada struktur *Box Tunnel* tersebut. Berat struktur *Box Tunnel* dan tanah diatas *Box Tunnel* harus lebi besar dari besar gaya angkat air (*uplift*). Kontrol terhadap *uplift* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.23.

$$\begin{aligned} F &= \frac{W_{\text{box tunnel}} + \sigma_{\text{tanah}}}{(Ht + Hw) \times \gamma_w} \\ &= \frac{7.779 + 4.2719}{(6.5 + 4) \times 1} \\ &= 1.14 > 1 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Kontrol *uplift* dilakukan juga menggunakan program bantu Plaxis. Melalui program Plaxis, permodelan *Box Tunnel* memiliki SF = 4.1732 dengan output permodelan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 *Output* Program Bantu Plaxis

5.1.5 Perhitungan Gaya Jack Hydraulic

Proses *jacking Box Tunnel* ke dalam tanah akan mengakibatkan termobilisasinya tahanan tanah. Oleh karena itu, diperlukan untuk menganalisis tahanan tanah disekitar *Box Tunnel* dengan memperhatikan beban-beban yang bekerja disekitar *Box Tunnel*. Sebagai usaha dalam mengurangi tahanan tanah, seluruh dinding *Box Tunnel* dilapisi dengan *anti drag system*. Analisis mengenai *anti drag system* sebagai berikut:

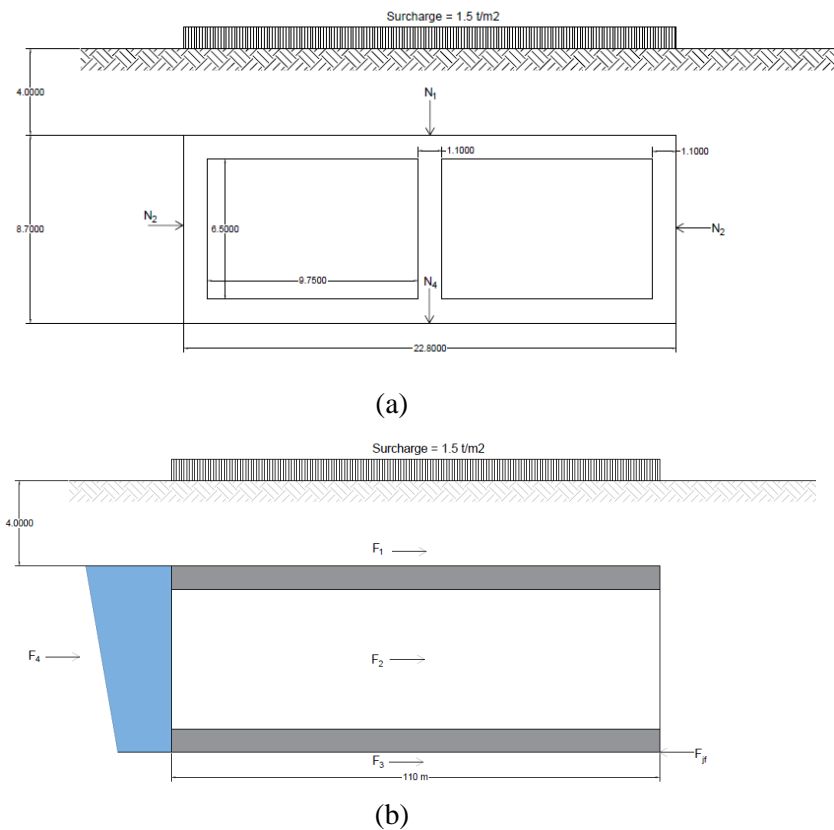
ADS Material	= Steel (Zynclaume Sheet)
Koefisien Friksi (μ)	= $\tan(\delta)$
	= $\tan(0.54 \times \phi)$
	= $\tan(0.54 \times 30.105^\circ)$
	= 0.2916

Kemudian *anti drag system* dilumuri dengan grease yang berupa minyak, sehingga mengurangi koefisien friksi sebanyak 70%.

Grease Effect	= Oil
---------------	-------

$$\begin{aligned}\text{Koefisien Friksi } (\mu) &= 30\% \times 0.2916 \\ &= 0.08748\end{aligned}$$

Nilai koefisien friksi (μ) digunakan dalam perhitungan gaya *jack hydraulic* yang dibutuhkan dengan mengalikan koefisien friksi dengan gaya tegak lurus yang bekerja pada *box tunnel* sehingga menghasilkan gaya gesek. Diagram gaya *jacking* ditunjukkan dalam Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Diagram Gaya Jacking

Perhitungan analisis tahanan tanah *box tunnel* sebagai berikut:

1. Gaya gesek pada plat atas *box tunnel* (F1)

$$\begin{aligned} \text{Surcharge} &= 1.5 \times 20.6 \times 110 \\ &= 3399 \text{ ton} \\ \text{Tanah} &= (\gamma \times 4) \times 20.6 \times 110 \\ &= (1.755 \times 4) \times 20.6 \times 110 \\ &= 15912.4 \text{ ton} \\ F1 &= (3399 + 15912.4) \times \mu \\ &= 19311.4 \times 0.08748 \\ &= 1689.37 \text{ ton} \end{aligned}$$
2. Gaya gesek pada sisi plat dinding *box tunnel* (F2)

$$\begin{aligned} \text{Tanah} &= 27.7321 \text{ t/m}' \times 110 \\ &= 3050.54 \text{ ton} \\ &= 6101.07 \text{ ton (2 sisi)} \\ F2 &= 6101.07 \times \mu \\ &= 6101.07 \times 0.08748 \\ &= 533.727 \text{ ton} \end{aligned}$$
3. Gaya gesek pada plat bawah *box tunnel* (F3)

$$\begin{aligned} \text{Surcharge} &= 1.5 \times 20.6 \times 110 \\ &= 3399 \text{ ton} \\ \text{Perkerasan jalan} &= \gamma_{\text{beton}} \times 0.6 \times 20.6 \times 110 \\ &= 2.4 \times 0.6 \times 20.6 \times 110 \\ &= 3263.04 \text{ ton} \\ \text{Berat alat konstruksi} &= 1 \times 20.6 \times 110 \\ &= 2266 \text{ ton} \\ \text{Berat Box Tunnel} &= 160.248 \times 110 \\ &= 17627.3 \text{ ton} \\ F3 &= (3399 + 3263.04 + 2266 + 17627.3) \times \mu \\ &= 26555.3 \times 0.08748 \\ &= 2323.08 \text{ ton} \end{aligned}$$
4. Gaya normal dari depan *box tunnel* (F4)

$$\begin{aligned} \text{Plat Atas} &= 2.46261 \times 20.6 \\ &= 50.7297 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Plat Dinding} &= 62.2174 \times 1.1 \\
 &= 68.4391 \text{ ton} \\
 \text{Plat Bawah} &= 4.53042 \times 20.6 \\
 &= 93.3266 \text{ ton} \\
 \text{F4} &= 50.7297 + 68.4391 + 93.3266 \\
 &= 212.495 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Sehingga diperlukan gaya *jack hydraulic* sebesar:

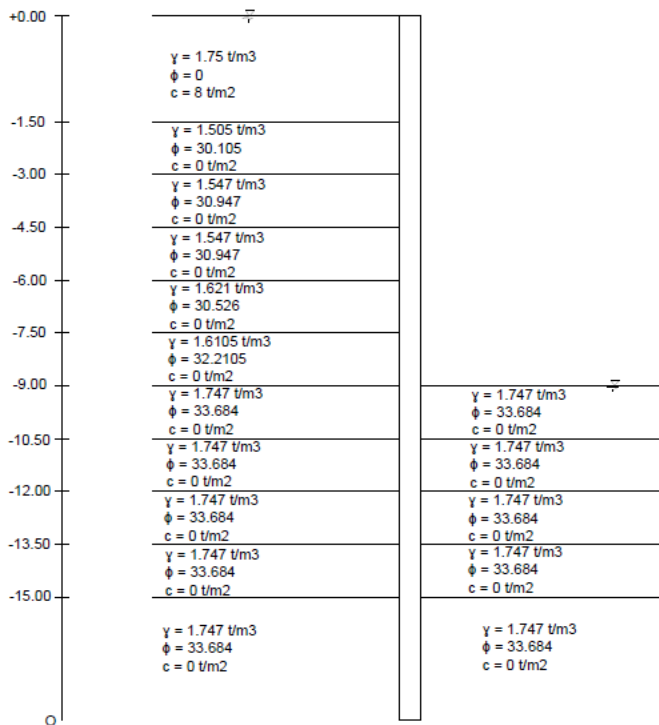
$$\begin{aligned}
 \text{Jacking Force} &= F1 + F2 + F3 + F4 \\
 &= 1392.03 + 533.727 + 1768.57 + 212.495 \\
 &= 3906.82 \text{ ton} \\
 \text{SF} &= 1.2 \\
 \text{Efisiensi Jack Hydraulic} &= 0.9 \\
 \text{Final Jacking Force} &= \frac{3906.82 \times 1.2}{0.9} \\
 &= 5209.1 \text{ ton} \\
 \text{Jack Hydraulic} &= \frac{5209.1}{1000} (@1000 \text{ ton}) \\
 &= 5.2091 \approx 6 \text{ Buah Jack Hydraulic}
 \end{aligned}$$

5.2 Perencanaan *Sheet Pile*

5.2.1 Perhitungan *Sheet Pile*

Perencanaan *Sheet Pile* dilakukan pada area terbuka underpass seperti pada Gambar 5.1. Perhitungan dilakukan pada kedalaman galian yang bervariasi sesuai dengan geometri jalan *Underpass* yang telah direncanakan. Geometri jalan *Underpass* dapat dilihat di Lampiran.

Sketsa tanah untuk perencanaan *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Sketsa Tanah Perencanaan Sheet Pile Untuk Galian 10.5 m

Berikut tahapan dalam merencanakan *sheet pile* tanpa anker:

1. Menentukan asumsi kedalam *sheet pile* (d0).
Nilai d0 untuk perencanaan *sheet pile* pada elevasi galian 10.5 m diasumsi dibawah 15 m.
2. Menghitung tegangan horizontal aktif dan pasif.
Perhitungan tegangan horizontal ditunjukkan pada Lampiran.
3. Mencari nilai d0.
Sketsa gaya-gaya pada *sheet pile* ditunjukkan pada Gambar 5.4. Perhitungan gaya-gaya yang bekerja

bertujuan untuk mendapatkan persamaan momen yang terjadi pada *sheet pile*. Perhitungan persamaan momen yang terjadi pada *sheet pile* ditunjukkan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Perhitungan Persamaan Momen Yang Terjadi Pada Sheet Pile

Gaya Aktif	Thickness (m)	oh Aktif/lebar (t/m2)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)		Momen (t.m)					
Pa.1	1.5	1.250236944	1.875355	11.25	+	1 do	21.09775	+	1.875355	d0	+
Pa.2	1.5	0.251561416	0.188671	11	+	1 do	2.075382	+	0.188671	d0	+
Pa.3	1.5	1.451413506	2.17712	9.75	+	1 do	21.22692	+	2.17712	d0	+
Pa.4	1.5	0.263381745	0.197536	9.5	+	1 do	1.876595	+	0.197536	d0	+
Pa.5	1.5	1.714795251	2.572193	8.25	+	1 do	21.22059	+	2.572193	d0	+
Pa.6	1.5	0.263381745	0.197536	8	+	1 do	1.58029	+	0.197536	d0	+
Pa.7	1.5	2.012294016	3.018441	6.75	+	1 do	20.37448	+	3.018441	d0	+
Pa.8	1.5	0.303990931	0.227993	6.5	+	1 do	1.481956	+	0.227993	d0	+
Pa.9	1.5	2.16215713	3.243236	5.25	+	1 do	17.02699	+	3.243236	d0	+
Pa.10	1.5	0.27895354	0.209215	5	+	1 do	1.046076	+	0.209215	d0	+
Pa.11	1.5	2.44111067	3.661666	3.75	+	1 do	13.73125	+	3.661666	d0	+
Pa.12	1.5	0.321172655	0.240879	3.5	+	1 do	0.843078	+	0.240879	d0	+
Pa.13	1.5	2.617129915	3.925695	2.25	+	1 do	8.832813	+	3.925695	d0	+
Pa.14	1.5	0.321172655	0.240879	2	+	1 do	0.481759	+	0.240879	d0	+
Pa.15	1.5	2.938302571	4.407454	0.75	+	1 do	3.30559	+	4.407454	d0	+
Pa.16	1.5	0.321172655	0.240879	0.5	+	1 do	0.12044	+	0.240879	d0	+
Pa.17	d0	3.259475226	3.259475	d0	0.5	d0		+			
Pa.18	d0	0.214115104	0.214115	d0	0.333333	d0		+			
Pa.19	15	15	112.5	5	+	1 do	562.5	+	112.5	d0	+
Pa.20	d0	15	15	d0	0.5	d0		+		7.5	d0^2
Pa.21	d0	1 d0	0.5	d0^2	0.333333	d0		+			+
Persamaan Momen Aktif							=	698.822	+	139.1248	d0
									+	9.129738	d0^2
									+	0.238038	d0^3

(a)

Gaya Aktif	Thickness (m)	oh Aktif/lebar (t/m2)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)		Momen (t.m)					
Pp.1	1.5	5.235747564	7.853621	3.75	+	1 do	29.45108	+	7.853621	d0	+
Pp.2	1.5	3.91303239	2.934774	3.5	+	1 do	10.27171	+	2.934774	d0	+
Pp.3	1.5	9.148779954	13.72317	2.25	+	1 do	30.87713	+	13.72317	d0	+
Pp.4	1.5	3.91303239	2.934774	2	+	1 do	5.869549	+	2.934774	d0	+
Pp.5	1.5	13.06181234	19.59272	0.75	+	1 do	14.69454	+	19.59272	d0	+
Pp.6	1.5	3.91303239	2.934774	0.5	+	1 do	1.467387	+	2.934774	d0	+
Pp.7	d0	16.97484473	16.97484	d0	0.5	d0		+		8.487422	d0^2
Pp.8	d0	2.60868826	2.608688	d0^2	0.333333	d0		+			+
Pp.9	4.5	4.5	10.125	1.5	+	1 do	15.1875	+	10.125	d0	+
Pp.10	d0	4.5	4.5	d0	0.5	d0		+		2.25	d0^2
Pp.11	d0	1 d0	0.5	d0	0.333333	d0		+			+
Persamaan Momen Pasif							=	107.8189	+	60.09883	d0
									+	10.73742	d0^2
									+	1.036229	d0^3

(b)

Aktif	698.822	+	139.1248	d0	+	9.129738	d0^2	+	0.238038	d0^3
Pasif	107.8189	+	60.09883	d0	+	10.73742	d0^2	+	1.036229	d0^3
Total	591.0031	+	79.02592	d0	+	-1.60768	d0^2	+	-0.79819	d0^3

(c)

4. Menghitung panjang total *sheet pile*.
Berdasarkan resultan persamaan momen yang telah didapatkan sebelumnya, maka dicari faktor dari persamaan pangkat tiga tersebut. Nilai yang didapatkan merupakan d_0 sebesar $11,7595 \text{ m} \approx 12 \text{ m}$. Kemudian nilai d_0 dikalikan dengan *safety factor* ($SF=1.5$), sehingga diperoleh nilai d_0 sebesar 17 m . Total panjang *sheet pile* yang digunakan adalah $10.5 \text{ m} + 17 \text{ m} = 27.5 \text{ m}$.
5. Menentukan karakter *sheet pile* yang akan dipasang.
Karakteristik *sheet pile* yang digunakan ditentukan berdasarkan perbandingan *section modulus* yang terjadi akibat momen yang bekerja pada *sheet pile* dibandingkan dengan *section modulus* dari jenis *sheet pile* yang digunakan (berdasarkan katalog pabrik). Berikut adalah contoh perhitungan karakteristik *sheet pile* pada elevasi galian 10.5 m :

Momen maksimum yang bekerja pada *sheet pile* adalah:

$$\Sigma Mx = 0.79819x^3 + 1.60768x^2 - 79.0259x - 591.003;$$

dimana x adalah d_0 .

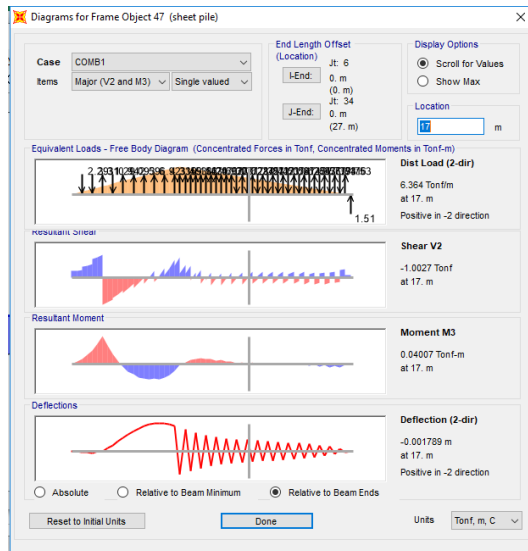
Berdasarkan perhitungan $\frac{dy.\Sigma Mx}{dx} = 0$ diperoleh nilai $x = 5.11 \text{ m}$. Nilai x kemudian disubstitusi ke persamaan ΣMx , sehingga diperoleh momen maksimum sebesar $746.341 \text{ tm} = 74634100 \text{ kg cm}$.

Nilai momen maksimum kemudian dibagi dengan tegangan ijin yaitu 1500 kg/cm^2 . Sehingga diperoleh nilai *section modulus* sebesar 56422.73 cm^3 .

Digunakan *sheet pile* dengan tipe *Corrugated Type W-600 A1000* dengan nilai *section modulus* 25530 cm^3 . Sehingga dibutuhkan 2 buah *sheet pile* tiap meter panjang melintang *Underpass*.

Karena total panjang *sheet pile* sebesar 27.5 m dan *sheet pile* bersifat *cantilever*, maka perlu dipasang 2 buah *strut* pada elevasi kedalaman 0 m dan 3 m. Sehingga perlu dicari kedalaman *sheet pile* yang dibutuhkan setelah memasang *strut* serta melakukan kontrol defleksi pada *sheet pile* yang digunakan. Karena akan dipasang 2 buah *strut* maka dalam metode pelaksanaan galiannya dibagi menjadi 2 fase yaitu, penggalian hingga kedalaman 3 m dan penggalian hingga kedalaman 10.5 m. Berikut adalah langkah – langkah dalam menghitung *sheet pile* dengan *strut*:

1. Melakukan *preliminary design sheet pile*, termasuk panjang dan karakteristik *sheet pile*. Dalam *preliminary design* ini digunakan panjang dan karakteristik *sheet pile* yang telah dihitung sebelumnya.
2. Menghitung tekanan lateral tanah dalam kondisi *at rest*, aktif dan pasif menggunakan persamaan 2.15. Kemudian mencari beban terpusat yang bekerja pada *sheet pile* di setiap meter.
3. Menghitung nilai *coefficient of subgrade reaction* per mer lapisan tanah dengan menggunakan persamaan 2.10.
4. Menghitung kedalaman *sheet pile* setelah pemasangan *strut*. Perhitungan kedalaman *sheet pile* setelah pemasangan *strut* menggunakan program bantu SAP2000. Tekanan lateral tanah dalam kondisi *at rest* (P_0) dan *coefficient of subgrade reaction* (K_s) serta beban air diinput kedalam program SAP2000 pada permodelan *sheet pile*. Kemudian panjang *sheet pile* ditentukan dari bidang momen yang dihasilkan, ketika momen menunjukkan nilai mendekati 0 atau 0 maka pada titik tersebut merupakan panjang *sheet pile*. Nilai momen mendekati 0 terletak pada kedalaman 17 m seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.13. Sehingga kedalaman *sheet pile* yang digunakan adalah 17 m yang dikalikan $SF=1.25$ yaitu $21.25 \text{ m} \approx 22 \text{ m}$.



Gambar 5. 13 Output Nilai Momen Yang Terjadi Pada Sheet Pile

5. Menghitung tekanan lateral tanah dalam kondisi *at rest*, aktif, pasif, dan koefisien spring pada galian 3 m sesuai dengan panjang *sheet pile* yang telah didapatkan sebelumnya. Kemudian mencari beban terpusat yang bekerja pada *sheet pile* di setiap meter dan diinput lagi kedalam program bantu SAP2000. Rekapitulasi nilai tekanan lateral tanah dalam keadaan *at rest*, aktif dan koefisien spring di depan *sheet pile* ditunjukkan dalam Tabel 5.5. Rekapitulasi nilai tekanan lateral tanah dalam keadaan *at rest*, pasif dan koefisien spring di depan *sheet pile* ditunjukkan dalam Tabel 5.6.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Nilai Tekanan Lateral Tanah Dalam Keadaan At Rest, Aktif Dan Koefisien Spring Di Depan Sheet Pile

Depth (m)	P0	Pa Min	Ks
0	0.844444	0	1022.727
1	2.255556	0	1022.727
2	3.011111	0	1022.727
3	2.696566	0.625313	1193.182
4	2.072044	1.3799	1193.182
5	2.280182	1.505816	1562.5
6	2.546066	1.681404	1562.5
7	2.820898	1.862901	1562.5
8	3.154114	2.091679	2225.379
9	3.367043	2.214688	1704.545
10	3.581865	2.336459	1704.545
11	3.73394	2.401842	2509.47
12	4.066807	2.615957	2509.47
13	4.316457	2.830072	2509.47
14	4.73254	3.044187	2509.47
15	5.065406	3.258302	2509.47
16	5.398273	3.472418	2509.47
17	5.731139	3.686533	2509.47
18	6.064006	3.900648	2509.47
19	6.396873	4.114763	2509.47
20	6.729739	4.328878	2509.47
21	7.062606	4.542993	2509.47
22	3.656128	2.35179	2509.47

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Nilai Tekanan Lateral Tanah Dalam Keadaan At Rest, Pasif Dan Koefisien Spring Di Depan Sheet Pile

Depth (m)	P0	Pp Max	Ks
3.5	0.873529	0.761119	1193.182
4.5	1.120557	1.553951	1193.182
5.5	1.439353	3.281419	1562.5
6.5	1.705237	4.987757	1562.5
7.5	1.935536	6.75152	1562.5
8.5	2.251849	8.483815	2225.379
9.5	2.42332	10.75721	1704.545
10.5	2.67502	13.22682	1704.545
11.5	2.946572	17.61904	2509.47
12.5	3.279439	21.53207	2509.47
13.5	3.612306	21.76969	2509.47
14.5	3.945172	24.37838	2509.47
15.5	4.278039	26.98706	2509.47
16.5	4.610905	29.59575	2509.47
17.5	4.943772	32.20444	2509.47
18.5	5.276639	34.81313	2509.47
19.5	5.609505	37.42182	2509.47
20.5	5.942372	40.03051	2509.47
21.5	6.275238	42.63919	2509.47

6. Dari program bantu SAP2000 didapatkan nilai defleksi di tiap titik *sheet pile* seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.7. Nilai defleksi tersebut digunakan dalam perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_a = P_{at\ rest} - \delta \times k_s < P_{a\ min} ; A \approx 1\ m^2$$

$$P_p = P_{at\ rest} + \delta \times k_s > P_{p\ max} ; A \approx 1\ m^2$$

Apabila nilai $P_a < P_{a\ min}$ maka digunakan nilai $P_{a\ min}$ dan menghilangkan pegas tanah. Apabila nilai $P_p > P_{p\ max}$ maka digunakan nilai $P_{p\ max}$ dan menghilangkan pegas tanah. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di depan *sheet pile* pada iterasi 2 ditunjukkan pada tabel

5.8. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di belakang *sheet pile* pada iterasi 2 ditunjukkan pada Tabel 5.9. Kemudian nilai-nilai tersebut diinput lagi kedalam program bantu SAP2000 dan mencari nilai defleksi pada kondisi tersebut. Bila $P_a < 0$ maka nilai $P_a = 0$ dan pegas tanah juga dihilangkan.

Tabel 5. 7 Nilai Defleksi Di Tiap Titik Sheet Pile Pada Iterasi 1.

Depth (m)	defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
1	0.0046	3.5	- 0.003367
2	0.004397	4.5	- 0.002824
3	0.004094	5.5	- 0.002339
4	0.003637	6.5	- 0.001957
5	0.003094	7.5	- 0.001671
6	0.002571	8.5	- 0.001467
7	0.002136	9.5	- 0.001322
8	0.001805	10.5	- 0.001196
9	0.001561	11.5	- 0.001083
10	0.001392	12.5	- 0.000995
11	0.00126	13.5	- 0.000934

12	0.001139	14.5	- 0.000892
13	0.001038	15.5	-0.00086
14	0.000965	16.5	- 0.000831
15	0.000915	17.5	- 0.000799
16	0.000879	18.5	- 0.000761
17	0.000849	19.5	- 0.000716
18	0.000819	20.5	- 0.000665
19	0.000785	21.5	- 0.000617
20	0.000744		
21	0.000696		
22	0.000645		
23	0.000604		

***Tabel 5. 8 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah
Di Depan Sheet Pile Pada Iterasi 2***

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.8444444444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444	YES
1	2.2555555556	0.001241	1022.727	0	0.986351	2.255556	YES
2	3.0111111111	0.002176	1022.727	0	0.785657	3.011111	YES
3	2.696565583	0.00266	1193.182	0.625313	-0.4773	0	NO
4	2.072043986	0.00274	1193.182	1.3799	-1.19727	0	NO
5	2.280182157	0.002566	1562.5	1.505816	-1.72919	0	NO
6	2.546066111	0.00228	1562.5	1.681404	-1.01643	0	NO
7	2.820898082	0.001977	1562.5	1.862901	-0.26816	0	NO
8	3.154113943	0.001702	2225.379	2.091679	-0.63348	0	NO
9	3.367042866	0.001485	1704.545	2.214688	0.835793	2.214688	NO
10	3.581865105	0.00131	1704.545	2.336459	1.348911	2.336459	NO
11	3.73393999	0.001159	2509.47	2.401842	0.825465	2.401842	NO
12	4.066806571	0.001042	2509.47	2.615957	1.451939	2.615957	NO
13	4.316456507	0.000965	2509.47	2.830072	1.894818	2.830072	NO
14	4.732539734	0.00092	2509.47	3.044187	2.423828	3.044187	NO
15	5.065406315	0.000896	2509.47	3.258302	2.816921	3.258302	NO
16	5.398272896	0.000879	2509.47	3.472418	3.192449	3.472418	NO
17	5.731139477	0.000857	2509.47	3.686533	3.580524	3.686533	NO
18	6.064006058	0.00081	2509.47	3.900648	4.031336	6.064006	YES
19	6.39687264	0.000718	2509.47	4.114763	4.595073	6.396873	YES
20	6.729739221	0.000555	2509.47	4.328878	5.336984	6.729739	YES
21	7.062605802	0.000309	2509.47	4.542993	6.28718	7.062606	YES
22	3.656127869	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656128	YES

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Belakang Sheet Pile Pada Iterasi 2

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp Max	Pp	Pp Actual	Spring
3.5	0.873529	-0.00274	1193.182	0.761119	4.142847	0.761118884	NO
4.5	1.120557	-0.002675	1193.182	1.553951	4.312319	1.553951054	NO
5.5	1.439353	-0.002429	1562.5	3.281419	5.234665	3.281419248	NO
6.5	1.705237	-0.002125	1562.5	4.987757	5.025549	4.987757257	NO
7.5	1.935536	-0.001832	1562.5	6.75152	4.798036	1.93553572	YES
8.5	2.251849	-0.001584	2225.379	8.483815	5.776849	2.251849162	YES
9.5	2.42332	-0.001392	1704.545	10.75721	4.796047	2.423319555	YES
10.5	2.67502	-0.001229	1704.545	13.22682	4.769906	2.675019823	YES
11.5	2.946572	-0.001093	2509.47	17.61904	5.689423	2.946572483	YES
12.5	3.279439	-0.000996	2509.47	21.53207	5.778871	3.279439064	YES
13.5	3.612306	-0.000936	2509.47	21.76969	5.961169	3.612305645	YES
14.5	3.945172	-0.000903	2509.47	24.37838	6.211223	3.945172226	YES
15.5	4.278039	-0.000884	2509.47	26.98706	6.49641	4.278038807	YES
16.5	4.610905	-0.000866	2509.47	29.59575	6.784106	4.610905388	YES
17.5	4.943772	-0.000834	2509.47	32.20444	7.03667	4.94377197	YES
18.5	5.276639	-0.000767	2509.47	34.81313	7.201402	5.276638551	YES
19.5	5.609505	-0.000642	2509.47	37.42182	7.220585	5.609505132	YES
20.5	5.942372	-0.000437	2509.47	40.03051	7.03901	5.942371713	YES
21.5	6.275238	-0.000153	2509.47	42.63919	6.659187	6.275238294	YES

7. Langkah sebelumnya diulangi hingga perbedaan defleksi mendekati 0. Proses iterasi dapat dilihat pada lampiran. Pada iterasi ke-5, perbedaan nilai defleksi dan beban lateral sudah mendekati 0 sehingga proses iterasi dapat dihentikan. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di depan *sheet pile* pada iterasi 5 ditunjukkan pada Tabel 5.10. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di belakang *sheet pile* pada iterasi 5 ditunjukkan pada Tabel 5.11. Nilai defleksi *sheet pile* pada iterasi terakhir ditunjukkan dalam Tabel 5.12 dan Gambar 5.14

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Depan Sheet Pile Pada Iterasi 5

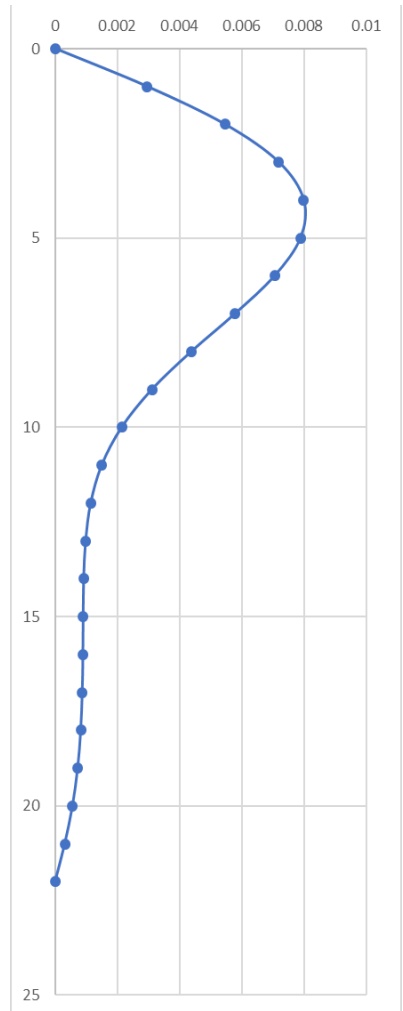
Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444	YES
1	2.255556	0.002956	1022.727	0	-0.76763	0	NO
2	3.011111	0.005461	1022.727	0	-2.574	0	NO
3	2.696566	0.007192	1193.182	0.625313	-5.8848	0	NO
4	2.072044	0.007992	1193.182	1.3799	-7.46387	0	NO
5	2.280182	0.007886	1562.5	1.505816	-10.0417	0	NO
6	2.546066	0.007055	1562.5	1.681404	-8.47737	0	NO
7	2.820898	0.005781	1562.5	1.862901	-6.21191	0	NO
8	3.154114	0.004377	2225.379	2.091679	-6.58637	0	NO
9	3.367043	0.003112	1704.545	2.214688	-1.9375	0	NO
10	3.581865	0.002141	1704.545	2.336459	-0.06757	0	NO
11	3.73394	0.0015	2509.47	2.401842	-0.03026	0	NO
12	4.066807	0.001146	2509.47	2.615957	1.190954	2.615957	NO
13	4.316457	0.000982	2509.47	2.830072	1.852157	2.830072	NO
14	4.73254	0.000922	2509.47	3.044187	2.418809	3.044187	NO
15	5.065406	0.000905	2509.47	3.258302	2.794336	3.258302	NO
16	5.398273	0.000897	2509.47	3.472418	3.147279	3.472418	NO
17	5.731139	0.000875	2509.47	3.686533	3.535353	3.686533	NO
18	6.064006	0.000825	2509.47	3.900648	3.993694	6.064006	YES
19	6.396873	0.000727	2509.47	4.114763	4.572488	6.396873	YES
20	6.729739	0.00056	2509.47	4.328878	5.324436	6.729739	YES
21	7.062606	0.00031	2509.47	4.542993	6.28467	7.062606	YES
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656128	YES

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Belakang Sheet Pile Pada Iterasi 5

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp Max	Pp	Pp Actual	Spring
3.5	0.873529	-0.00771	1193.182	0.761119	10.07296	0.761119	NO
4.5	1.120557	-0.008043	1193.182	1.553951	10.71732	1.553951	NO
5.5	1.439353	-0.007544	1562.5	3.281419	13.22685	3.281419	NO
6.5	1.705237	-0.006452	1562.5	4.987757	11.78649	4.987757	NO
7.5	1.935536	-0.005074	1562.5	6.75152	9.863661	6.75152	NO
8.5	2.251849	-0.00371	2225.379	8.483815	10.508	8.483815	NO
9.5	2.42332	-0.002583	1704.545	10.75721	6.82616	2.42332	YES
10.5	2.67502	-0.001779	1704.545	13.22682	5.707406	2.67502	YES
11.5	2.946572	-0.001289	2509.47	17.61904	6.181279	2.946572	YES
12.5	3.279439	-0.001043	2509.47	21.53207	5.896816	3.279439	YES
13.5	3.612306	-0.00094	2509.47	21.76969	5.971207	3.612306	YES
14.5	3.945172	-0.000907	2509.47	24.37838	6.221261	3.945172	YES
15.5	4.278039	-0.000898	2509.47	26.98706	6.531543	4.278039	YES
16.5	4.610905	-0.000885	2509.47	29.59575	6.831786	4.610905	YES
17.5	4.943772	-0.00085	2509.47	32.20444	7.076821	4.943772	YES
18.5	5.276639	-0.000779	2509.47	34.81313	7.231515	5.276639	YES
19.5	5.609505	-0.000649	2509.47	37.42182	7.238151	5.609505	YES
20.5	5.942372	-0.00044	2509.47	40.03051	7.046538	5.942372	YES
21.5	6.275238	-0.000154	2509.47	42.63919	6.661697	6.275238	YES

***Tabel 5. 12 Defleksi Sheet
Pile Pada Iterasi Akhir***

Depth (m)	defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	3.5	-0.00771
1	0.002956	4.5	-0.008043
2	0.005461	5.5	-0.007544
3	0.007192	6.5	-0.006452
4	0.007992	7.5	-0.005074
5	0.007886	8.5	-0.00371
6	0.007055	9.5	-0.002583
7	0.005781	10.5	-0.001779
8	0.004377	11.5	-0.001289
9	0.003112	12.5	-0.001043
10	0.002141	13.5	-0.00094
11	0.0015	14.5	-0.000907
12	0.001146	15.5	-0.000898
13	0.000982	16.5	-0.000885
14	0.000922	17.5	-0.00085
15	0.000905	18.5	-0.000779
16	0.000897	19.5	-0.000649
17	0.000875	20.5	-0.00044
18	0.000825	21.5	-0.000154
19	0.000727		
20	0.00056		
21	0.00031		
22	0		



***Gambar 5. 14
Defleksi Sheet
Pile Pada Iterasi
Akhir***

8. Mengulangi proses sebelumnya untuk kedalaman galian 10.5m dengan 2 buah *strut* pada *sheet pile*. Proses iterasi pada galian galian kedua (10.5 m) memperhitungkan deformasi pada fase galian pertama (3 m). Tekanan tanah di belakang *sheet pile* dan tekanan air pori mengalami perubahan karena perbedaan kedalaman galian. Sedangkan tekanan tanah di depan *sheet pile* tidak mengalami perubahan karena tidak adanya perubahan elevasi. Rekapitulasi nilai tekanan lateral tanah dalam keadaan at rest, aktif dan koefisien spring di depan *sheet pile* ditunjukkan dalam Tabel 5.13. Rekapitulasi nilai tekanan lateral tanah dalam keadaan at rest, pasif dan koefisien spring di depan *sheet pile* ditunjukkan dalam Tabel 5.14. Tekanan air pori ditunjukkan dalam Tabel 5.15.

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Nilai Tekanan Lateral Tanah Dalam Keadaan At Rest, Aktif Dan Koefisien Spring Di Depan Sheet Pile

Depth (m)	P0	Pa Min	Ks
0	0.844444	0	1022.727
1	2.066667	0	1022.727
2	3.011111	0	1022.727
3	2.696566	0.625313	1193.182
4	2.072044	1.3799	1193.182
5	2.280182	1.505816	1562.5
6	2.546066	1.681404	1562.5
7	2.820898	1.862901	1562.5
8	3.154114	2.091679	2225.379
9	3.367043	2.213031	1704.545
10	3.581865	2.336459	1704.545
11	3.73394	2.401842	2509.47
12	4.066807	2.615957	2509.47
13	4.316457	2.830072	2509.47
14	4.73254	3.044187	2509.47
15	5.065406	3.258302	2509.47
16	5.398273	3.472418	2509.47
17	5.731139	3.686533	2509.47
18	6.064006	3.900648	2509.47
19	6.396873	4.114763	2509.47
20	6.729739	4.328878	2509.47
21	7.062606	4.542993	2509.47
22	7.395472	4.757108	2509.47
23	7.728339	4.971223	2509.47
24	8.061206	5.185338	2509.47
25	8.394072	5.399453	2509.47
26	8.726939	5.613569	2509.47
27	4.488294	2.887077	2509.47

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Nilai Tekanan Lateral Tanah Dalam Keadaan At Rest, Pasif Dan Koefisien Spring Di Belakang Sheet Pile

Depth (m)	P0	Pp Max
10.5	0.375647	0.326086
11.5	1.000944	2.608688
12.5	1.33381	5.217377
13.5	1.666677	7.826065
14.5	1.999544	10.43475
15.5	2.33241	13.04344
16.5	2.665277	15.65213
17.5	2.998143	18.26082
18.5	3.33101	20.86951
19.5	3.663877	23.47819
20.5	3.996743	26.08688
21.5	4.32961	28.69557
22.5	4.662476	31.30426
23.5	4.995343	33.91295
24.5	5.328209	36.52164
25.5	5.744293	39.7825
26.5	3.03858	21.19559

Tabel 5. 15 Tekanan Air Pori

Depth (m)	σ_w (t/m ²)
0	0
10.5	10.5
22	0

Kemudian analisis iterasi dilakukan dengan menggunakan data-data yang didapatkan sebelumnya. Pada iterasi pertama, nilai defleksi pada fase penggalian pertama digunakan dalam perhitungan seperti pada langkah 6. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di depan *sheet pile* pada iterasi 1 ditunjukkan pada Tabel 5.16. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di belakang *sheet pile* pada iterasi 1 ditunjukkan pada Tabel 5.17.

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Depan Sheet Pile Pada Iterasi 1

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES
1	2.255556	0.004907	1022.727	0	-2.76297	0	NO
2	3.011111	0.009233	1022.727	0	-6.43173	0	NO
3	2.696566	0.012523	1193.182	0.625313	-12.2457	0	NO
4	2.072044	0.014492	1193.182	1.3799	-15.2195	0	NO
5	2.280182	0.015061	1562.5	1.505816	-21.2526	0	NO
6	2.546066	0.014357	1562.5	1.681404	-19.8867	0	NO
7	2.820898	0.012664	1562.5	1.862901	-16.9666	0	NO
8	3.154114	0.010361	2225.379	2.091679	-19.903	0	NO
9	3.367043	0.007856	1704.545	2.214688	-10.0239	0	NO
10	3.581865	0.005521	1704.545	2.336459	-5.82893	0	NO
11	3.73394	0.003618	2509.47	2.401842	-5.34532	0	NO
12	4.066807	0.002258	2509.47	2.615957	-1.59958	0	NO
13	4.316457	0.001411	2509.47	2.830072	0.775595	2.830072245	NO
14	4.73254	0.000958	2509.47	3.044187	2.328468	3.044187348	NO
15	5.065406	0.000767	2509.47	3.258302	3.140643	3.258302452	NO
16	5.398273	0.000721	2509.47	3.472418	3.588945	5.398272896	YES
17	5.731139	0.000729	2509.47	3.686533	3.901736	5.731139477	YES
18	6.064006	0.000729	2509.47	3.900648	4.234603	6.064006058	YES
19	6.396873	0.000675	2509.47	4.114763	4.702981	6.39687264	YES
20	6.729739	0.000537	2509.47	4.328878	5.382154	6.729739221	YES
21	7.062606	0.000303	2509.47	4.542993	6.302236	7.062605802	YES
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656127869	YES

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Belakang Sheet Pile Pada Iterasi 1

depth (m)	P0	defleksi	ks	Pp Max	Pp	Pp actual	
10.5	0.375647	-0.0045	1704.545	0.326086	8.047806	0.326086	NO
11.5	1.000944	-0.00286	2509.47	2.608688	8.188065	2.608688	NO
12.5	1.33381	-0.00177	2509.47	5.217377	5.7831	5.217377	NO
13.5	1.666677	-0.00114	2509.47	7.826065	4.527472	1.666677	YES
14.5	1.999544	-0.00084	2509.47	10.43475	4.094951	1.999544	YES
15.5	2.33241	-0.00073	2509.47	13.04344	4.161814	2.33241	YES
16.5	2.665277	-0.00072	2509.47	15.65213	4.469585	2.665277	YES
17.5	2.998143	-0.00073	2509.47	18.26082	4.827547	2.998143	YES
18.5	3.33101	-0.00071	2509.47	20.86951	5.105205	3.33101	YES
19.5	3.663877	-0.00061	2509.47	23.47819	5.202181	3.663877	YES
20.5	3.996743	-0.00043	2509.47	26.08688	5.068287	3.996743	YES
21.5	4.32961	-0.00015	2509.47	28.69557	4.70854	4.32961	YES

Pada iterasi ke-3, perbedaan nilai defleksi dan beban lateral sudah mendekati 0 sehingga proses iterasi dapat dihentikan. Proses iterasi dapat dilihat di Lampiran. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di depan *sheet pile* pada iterasi 5 ditunjukkan pada Tabel 5.18. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di belakang *sheet pile* pada iterasi 5 ditunjukkan pada Tabel 5.19. Nilai defleksi *sheet pile* pada iterasi terakhir ditunjukkan dalam Tabel 5.20 dan Gambar 5.15

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Depan Sheet Pile Pada Iterasi 5

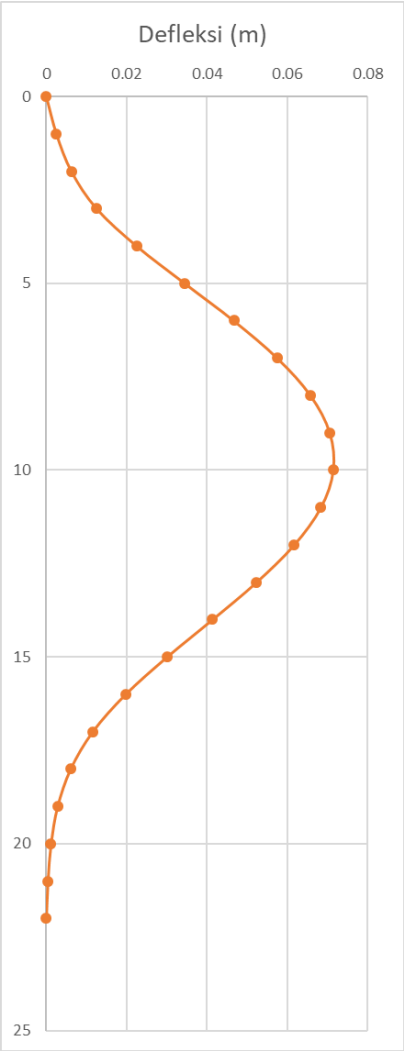
Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES
1	2.255556	0.002504	1022.727	0	-0.30535	0	NO
2	3.011111	0.006229	1022.727	0	-3.35946	0	NO
3	2.696566	0.012523	1193.182	0.625313	-12.2457	0	NO
4	2.072044	0.022497	1193.182	1.3799	-24.771	0	NO
5	2.280182	0.034488	1562.5	1.505816	-51.6073	0	NO
6	2.546066	0.04667	1562.5	1.681404	-70.3758	0	NO
7	2.820898	0.057499	1562.5	1.862901	-87.0213	0	NO
8	3.154114	0.065747	2225.379	2.091679	-143.158	0	NO
9	3.367043	0.070545	1704.545	2.214688	-116.88	0	NO
10	3.581865	0.071417	1704.545	2.336459	-118.152	0	NO
11	3.73394	0.068317	2509.47	2.401842	-167.706	0	NO
12	4.066807	0.061663	2509.47	2.615957	-150.675	0	NO
13	4.316457	0.052289	2509.47	2.830072	-126.901	0	NO
14	4.73254	0.041313	2509.47	3.044187	-98.9412	0	NO
15	5.065406	0.030012	2509.47	3.258302	-70.2488	0	NO
16	5.398273	0.019685	2509.47	3.472418	-44.0006	0	NO
17	5.731139	0.011524	2509.47	3.686533	-23.188	0	NO
18	6.064006	0.006029	2509.47	3.900648	-9.06559	0	NO
19	6.396873	0.002798	2509.47	4.114763	-0.62462	0	NO
20	6.729739	0.001147	2509.47	4.328878	3.851377	4.328877969	NO
21	7.062606	0.000393	2509.47	4.542993	6.076384	7.062605802	YES
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656127869	YES

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Belakang Sheet Pile Pada Iterasi 5

depth (m)	P0	defleksi	ks	Pp Max	Pp	Pp actual	Spring
10.5	0.375647	-0.07035	1704.545	0.326086	120.287	0.326086032	NO
11.5	1.000944	-0.06539	2509.47	2.608688	165.0952	2.60868826	NO
12.5	1.33381	-0.05725	2509.47	5.217377	144.9984	5.21737652	NO
13.5	1.666677	-0.04692	2509.47	7.826065	119.411	7.82606478	NO
14.5	1.999544	-0.03562	2509.47	10.43475	91.37933	10.43475304	NO
15.5	2.33241	-0.02464	2509.47	13.04344	64.17578	13.0434413	NO
16.5	2.665277	-0.01526	2509.47	15.65213	40.95727	15.65212956	NO
17.5	2.998143	-0.00845	2509.47	18.26082	24.19563	18.26081782	NO
18.5	3.33101	-0.00417	2509.47	20.86951	13.78295	3.331009943	YES
19.5	3.663877	-0.00182	2509.47	23.47819	8.221073	3.663876524	YES
20.5	3.996743	-0.00069	2509.47	26.08688	5.733296	3.996743105	YES
21.5	4.32961	-0.00017	2509.47	28.69557	4.761238	4.329609686	YES

*Tabel 5. 20 Defleksi Sheet
Pile Pada Iterasi Akhir*

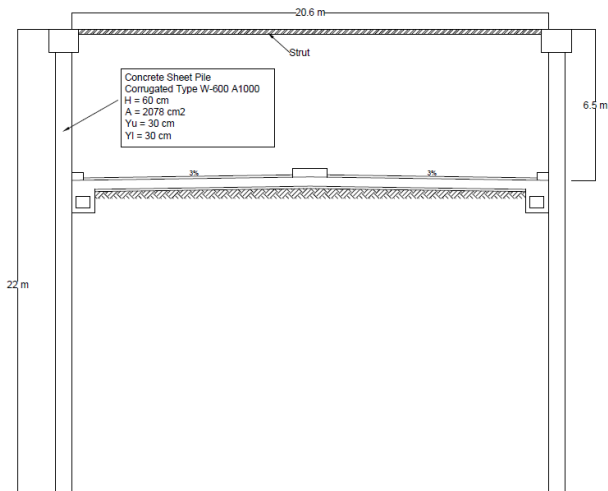
Depth (m)	defleksi (m)	depth (m)	defleksi (m)
0	0	10.5	-0.070348
1	0.002504	11.5	-0.06539
2	0.006229	12.5	-0.057249
3	0.012523	13.5	-0.04692
4	0.022497	14.5	-0.035617
5	0.034488	15.5	-0.024644
6	0.04667	16.5	-0.015259
7	0.057499	17.5	-0.008447
8	0.065747	18.5	-0.004165
9	0.070545	19.5	-0.001816
10	0.071417	20.5	-0.000692
11	0.068317	21.5	-0.000172
12	0.061663		
13	0.052289		
14	0.041313		
15	0.030012		
16	0.019685		
17	0.011524		
18	0.006029		
19	0.002798		
20	0.001147		
21	0.000393		
22	0		



*Gambar 5. 15 Defleksi
Sheet Pile Pada Iterasi
Akhir*

Perhitungan *Sheet Pile Model 2* (Galian 6 m) dengan 1 *strut*

Perencanaan *sheet pile* model 2 (galian 6m) dengan 1 *strut* menggunakan langkah-langkah yang sama dengan perencanaan *sheet pile* model 1 (galian 10.5m). Gambar 5.16 menunjukkan potongan model 2.



Gambar 5. 16 Potongan Model 2

Sheet pile direncanakan menggunakan *concrete sheet pile corrugated type W-600 A-1000*. Kedalaman *sheet pile* direncanakan dengan menggunakan beban tekanan tanah lateral pada kondisi *at rest*. Rekapitulasi tekanan tanah di depan *sheet pile* ditunjukkan dalam Tabel 5.21. Rekapitulasi tekanan tanah di belakang *sheet pile* ditunjukkan dalam Tabel 5.22. Tekanan air pori ditunjukkan dalam Tabel 5.23.

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Tekanan Tanah Di Depan *Sheet Pile*

Lapisan	Depth (m)	Tebal (m)		ov Aktif (t/m2)	C' (t/m2)	ϕ	K0	oh at rest (t/m2)
1	0	0.5	bawah	1.5	8	0	1	1.5
	0.5		atas	1.877777778	8	0	1	1.877777778
2	0.5	0.5	bawah	1.877777778	8	0	1	1.877777778
	1		atas	2.255555556	8	0	1	2.255555556
3	1	0.5	bawah	2.255555556	8	0	1	2.255555556
	1.5		atas	2.633333333	8	0	1	2.633333333
4	1.5	0.5	bawah	2.633333333	8	0	1	2.633333333
	2		atas	3.011111111	8	0	1	3.011111111
5	2	0.5	bawah	3.011111111	8	0	1	3.011111111
	2.5		atas	3.388888889	8	0	1	3.388888889
6	2.5	0.5	bawah	3.388888889	8	0	1	3.388888889
	3		atas	3.641520468	8	0	1	3.641520468
7	3	0.5	bawah	3.641520468	0	30.10526	0.49841	1.814969461
	3.5		atas	3.894152047	0	30.10526	0.49841	1.940883514
8	3.5	0.5	bawah	3.894152047	0	30.10526	0.49841	1.940883514
	4		atas	4.146783626	0	30.10526	0.49841	2.066797567
9	4	0.5	bawah	4.146783626	0	30.10526	0.49841	2.066797567
	4.5		atas	4.420467836	0	30.10526	0.49841	2.203204458
10	4.5	0.5	bawah	4.420467836	0	30.94737	0.48575	2.14724018
	5		atas	4.694152047	0	30.94737	0.48575	2.280182157
11	5	0.5	bawah	4.694152047	0	30.94737	0.48575	2.280182157
	5.5		atas	4.967836257	0	30.94737	0.48575	2.413124134
12	5.5	0.5	bawah	4.967836257	0	30.94737	0.48575	2.413124134
	6		atas	5.241520468	0	30.94737	0.48575	2.546066111
13	6	0.5	bawah	5.241520468	0	30.94737	0.48575	2.546066111
	6.5		atas	5.515204678	0	30.94737	0.48575	2.679008088
14	6.5	0.5	bawah	5.515204678	0	30.94737	0.48575	2.679008088
	7		atas	5.788888889	0	30.94737	0.48575	2.811950065
15	7	0.5	bawah	5.788888889	0	30.94737	0.48575	2.811950065
	7.5		atas	6.099415205	0	30.94737	0.48575	2.962788077
16	7.5	0.5	bawah	6.099415205	0	30.52632	0.492066	3.001314517
	8		atas	6.40994152	0	30.52632	0.492066	3.154113943
17	8	0.5	bawah	6.40994152	0	30.52632	0.492066	3.154113943
	8.5		atas	6.720467836	0	30.52632	0.492066	3.306913368
18	8.5	0.5	bawah	6.720467836	0	30.52632	0.492066	3.306913368
	9		atas	7.025730994	0	30.52632	0.492066	3.457122973
19	9	0.5	bawah	7.025730994	0	32.21053	0.466968	3.280793457
	9.5		atas	7.330994152	0	32.21053	0.466968	3.423341666
20	9.5	0.5	bawah	7.330994152	0	32.21053	0.466968	3.423341666
	10		atas	7.63625731	0	32.21053	0.466968	3.565889875
21	10	0.5	bawah	7.63625731	0	32.21053	0.466968	3.565889875
	10.5		atas	8.00994152	0	32.21053	0.466968	3.740388545
22	10.5	0.5	bawah	8.00994152	0	33.68421	0.445385	3.5675067
	11		atas	8.383625731	0	33.68421	0.445385	3.73393999
23	11	0.5	bawah	8.383625731	0	33.68421	0.445385	3.73393999
	11.5		atas	8.757309942	0	33.68421	0.445385	3.900373281
24	11.5	0.5	bawah	8.757309942	0	33.68421	0.445385	3.900373281
	12		atas	9.130994152	0	33.68421	0.445385	4.066806571
25	12	0.5	bawah	9.130994152	0	33.68421	0.445385	4.066806571
	12.5		atas	9.504678363	0	33.68421	0.445385	4.233239862

26	12.5	0.5	bawah	9.504678363	0	33.68421	0.445385	4.233239862
	13		atas	9.878362573	0	33.68421	0.445385	4.399673153
27	13	0.5	bawah	9.878362573	0	33.68421	0.445385	4.399673153
	13.5		atas	10.25204678	0	33.68421	0.445385	4.566106443
28	13.5	0.5	bawah	10.25204678	0	33.68421	0.445385	4.566106443
	14		atas	10.62573099	0	33.68421	0.445385	4.732539734
29	14	0.5	bawah	10.62573099	0	33.68421	0.445385	4.732539734
	14.5		atas	10.9994152	0	33.68421	0.445385	4.898973024
30	14.5	0.5	bawah	10.9994152	0	33.68421	0.445385	4.898973024
	15		atas	11.37309942	0	33.68421	0.445385	5.065406315
31	15	0.5	bawah	11.37309942	0	33.68421	0.445385	5.065406315
	15.5		atas	11.74678363	0	33.68421	0.445385	5.231839606
32	15.5	0.5	bawah	11.74678363	0	33.68421	0.445385	5.231839606
	16		atas	12.12046784	0	33.68421	0.445385	5.398272896
33	16	0.5	bawah	12.12046784	0	33.68421	0.445385	5.398272896
	16.5		atas	12.49415205	0	33.68421	0.445385	5.564706187
34	16.5	0.5	bawah	12.49415205	0	33.68421	0.445385	5.564706187
	17		atas	12.86783626	0	33.68421	0.445385	5.731139477
35	17	0.5	bawah	12.86783626	0	33.68421	0.445385	5.731139477
	17.5		atas	13.24152047	0	33.68421	0.445385	5.897572768
36	17.5	0.5	bawah	13.24152047	0	33.68421	0.445385	5.897572768
	18		atas	13.61520468	0	33.68421	0.445385	6.064006058
37	18	0.5	bawah	13.61520468	0	33.68421	0.445385	6.064006058
	18.5		atas	13.98888889	0	33.68421	0.445385	6.230439349
38	18.5	0.5	bawah	13.98888889	0	33.68421	0.445385	6.230439349
	19		atas	14.3625731	0	33.68421	0.445385	6.39687264
39	19	0.5	bawah	14.3625731	0	33.68421	0.445385	6.39687264
	19.5		atas	14.73625731	0	33.68421	0.445385	6.56330593
40	19.5	0.5	bawah	14.73625731	0	33.68421	0.445385	6.56330593
	20		atas	15.10994152	0	33.68421	0.445385	6.729739221
41	20	0.5	bawah	15.10994152	0	33.68421	0.445385	6.729739221
	20.5		atas	15.48362573	0	33.68421	0.445385	6.896172511
42	20.5	0.5	bawah	15.48362573	0	33.68421	0.445385	6.896172511
	21		atas	15.85730994	0	33.68421	0.445385	7.062605802
43	21	0.5	bawah	15.85730994	0	33.68421	0.445385	7.062605802
	21.5		atas	16.23099415	0	33.68421	0.445385	7.229039093
44	21.5	0.5	bawah	16.23099415	0	33.68421	0.445385	7.229039093
	22		atas	16.60467836	0	33.68421	0.445385	7.395472383
45	22	0.5	bawah	16.60467836	0	33.68421	0.445385	7.395472383
	22.5		atas	16.97836257	0	33.68421	0.445385	7.561905674
46	22.5	0.5	bawah	16.97836257	0	33.68421	0.445385	7.561905674
	23		atas	17.35204678	0	33.68421	0.445385	7.728338964
47	23	0.5	bawah	17.35204678	0	33.68421	0.445385	7.728338964
	23.5		atas	17.72573099	0	33.68421	0.445385	7.894772255
48	23.5	0.5	bawah	17.72573099	0	33.68421	0.445385	7.894772255
	24		atas	18.0994152	0	33.68421	0.445385	8.061205545
49	24	0.5	bawah	18.0994152	0	33.68421	0.445385	8.061205545
	24.5		atas	18.47309942	0	33.68421	0.445385	8.227638836
50	24.5	0.5	bawah	18.47309942	0	33.68421	0.445385	8.227638836
	25		atas	18.84678363	0	33.68421	0.445385	8.394072127
51	25	0.5	bawah	18.84678363	0	33.68421	0.445385	8.394072127
	25.5		atas	19.22046784	0	33.68421	0.445385	8.560505417
52	25.5	0.5	bawah	19.22046784	0	33.68421	0.445385	8.560505417
	26		atas	19.59415205	0	33.68421	0.445385	8.726938708
53	26	0.5	bawah	19.59415205	0	33.68421	0.445385	8.726938708
	26.5		atas	19.96783626	0	33.68421	0.445385	8.893371998
54	26.5	0.5	bawah	19.96783626	0	33.68421	0.445385	8.893371998
	27		atas	20.34152047	0	33.68421	0.445385	9.059805289

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Tekanan Tanah Di Belakang *Sheet Pile*

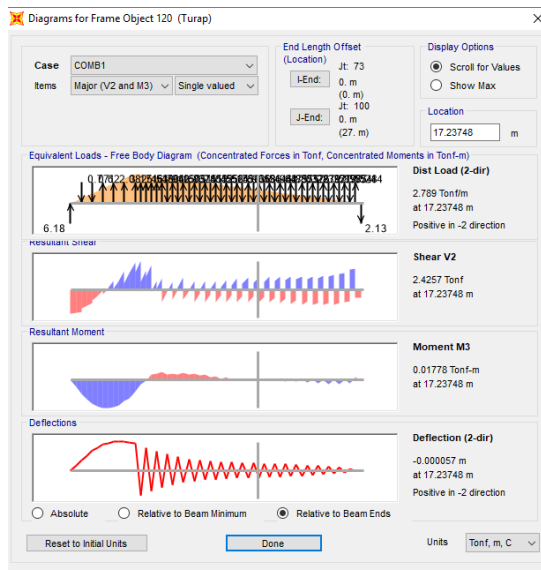
Lapisan	Depth (m)	Tebal (m)		σ_v (t/m ²)	C' (t/m ²)	ϕ	K0	oh at rest (t/m ²)
1	6	0.5	bawah	1.5	0	30.94737	0.48575	0.728624297
	6.5		atas	1.773684211	0	30.94737	0.48575	0.861566274
2	6.5	0.5	bawah	1.773684211	0	30.94737	0.48575	0.861566274
	7		atas	2.047368421	0	30.94737	0.48575	0.994508251
3	7	0.5	bawah	2.047368421	0	30.94737	0.48575	0.994508251
	7.5		atas	2.357894737	0	30.94737	0.48575	1.145346263
4	7.5	0.5	bawah	2.357894737	0	30.52632	0.492066	1.160239706
	8		atas	2.668421053	0	30.52632	0.492066	1.313039132
5	8	0.5	bawah	2.668421053	0	30.52632	0.492066	1.313039132
	8.5		atas	2.978947368	0	30.52632	0.492066	1.465838557
6	8.5	0.5	bawah	2.978947368	0	30.52632	0.492066	1.465838557
	9		atas	3.284210526	0	30.52632	0.492066	1.616048162
7	9	0.5	bawah	3.284210526	0	32.21053	0.466968	1.533622112
	9.5		atas	3.589473684	0	32.21053	0.466968	1.676170321
8	9.5	0.5	bawah	3.589473684	0	32.21053	0.466968	1.676170321
	10		atas	3.894736842	0	32.21053	0.466968	1.81871853
9	10	0.5	bawah	3.894736842	0	32.21053	0.466968	1.81871853
	10.5		atas	4.268421053	0	32.21053	0.466968	1.9932172
10	10.5	0.5	bawah	4.268421053	0	33.68421	0.445385	1.901090122
	11		atas	4.642105263	0	33.68421	0.445385	2.067523413
11	11	0.5	bawah	4.642105263	0	33.68421	0.445385	2.067523413
	11.5		atas	5.015789474	0	33.68421	0.445385	2.233956703
12	11.5	0.5	bawah	5.015789474	0	33.68421	0.445385	2.233956703
	12		atas	5.389473684	0	33.68421	0.445385	2.400389994
13	12	0.5	bawah	5.389473684	0	33.68421	0.445385	2.400389994
	12.5		atas	5.763157895	0	33.68421	0.445385	2.566823284
14	12.5	0.5	bawah	5.763157895	0	33.68421	0.445385	2.566823284
	13		atas	6.136842105	0	33.68421	0.445385	2.733256575
15	13	0.5	bawah	6.136842105	0	33.68421	0.445385	2.733256575
	13.5		atas	6.510526316	0	33.68421	0.445385	2.899689866
16	13.5	0.5	bawah	6.510526316	0	33.68421	0.445385	2.899689866
	14		atas	6.884210526	0	33.68421	0.445385	3.066123156
17	14	0.5	bawah	6.884210526	0	33.68421	0.445385	3.066123156
	14.5		atas	7.257894737	0	33.68421	0.445385	3.232556447
18	14.5	0.5	bawah	7.257894737	0	33.68421	0.445385	3.232556447
	15		atas	7.631578947	0	33.68421	0.445385	3.398989737
19	15	0.5	bawah	7.631578947	0	33.68421	0.445385	3.398989737
	15.5		atas	8.005263158	0	33.68421	0.445385	3.565423028
20	15.5	0.5	bawah	8.005263158	0	33.68421	0.445385	3.565423028
	16		atas	8.378947368	0	33.68421	0.445385	3.731856318

21	16	0.5	bawah	8.378947368	0	33.68421	0.445385	3.731856318
	16.5		atas	8.752631579	0	33.68421	0.445385	3.898289609
22	16.5	0.5	bawah	8.752631579	0	33.68421	0.445385	3.898289609
	17		atas	9.126315789	0	33.68421	0.445385	4.0647229
23	17	0.5	bawah	9.126315789	0	33.68421	0.445385	4.0647229
	17.5		atas	9.5	0	33.68421	0.445385	4.23115619
24	17.5	0.5	bawah	9.5	0	33.68421	0.445385	4.23115619
	18		atas	9.873684211	0	33.68421	0.445385	4.397589481
25	18	0.5	bawah	9.873684211	0	33.68421	0.445385	4.397589481
	18.5		atas	10.24736842	0	33.68421	0.445385	4.564022771
26	18.5	0.5	bawah	10.24736842	0	33.68421	0.445385	4.564022771
	19		atas	10.62105263	0	33.68421	0.445385	4.730456062
27	19	0.5	bawah	10.62105263	0	33.68421	0.445385	4.730456062
	19.5		atas	10.99473684	0	33.68421	0.445385	4.896889352
28	19.5	0.5	bawah	10.99473684	0	33.68421	0.445385	4.896889352
	20		atas	11.36842105	0	33.68421	0.445385	5.063322643
29	20	0.5	bawah	11.36842105	0	33.68421	0.445385	5.063322643
	20.5		atas	11.74210526	0	33.68421	0.445385	5.229755934
30	20.5	0.5	bawah	11.74210526	0	33.68421	0.445385	5.229755934
	21		atas	12.11578947	0	33.68421	0.445385	5.396189224
31	21	0.5	bawah	12.11578947	0	33.68421	0.445385	5.396189224
	21.5		atas	12.48947368	0	33.68421	0.445385	5.562622515
32	21.5	0.5	bawah	12.48947368	0	33.68421	0.445385	5.562622515
	22		atas	12.86315789	0	33.68421	0.445385	5.729055805
33	22	0.5	bawah	12.86315789	0	33.68421	0.445385	5.729055805
	22.5		atas	13.23684211	0	33.68421	0.445385	5.895489096
34	22.5	1.5	bawah	13.23684211	0	33.68421	0.445385	5.895489096
	23		atas	13.61052632	0	33.68421	0.445385	6.061922387
35	23	2.5	bawah	13.61052632	0	33.68421	0.445385	6.061922387
	23.5		atas	13.98421053	0	33.68421	0.445385	6.228355677
36	23.5	3.5	bawah	13.98421053	0	33.68421	0.445385	6.228355677
	24		atas	14.35789474	0	33.68421	0.445385	6.394788968
37	24	4.5	bawah	14.35789474	0	33.68421	0.445385	6.394788968
	24.5		atas	14.73157895	0	33.68421	0.445385	6.561222258
38	24.5	5.5	bawah	14.73157895	0	33.68421	0.445385	6.561222258
	25		atas	15.10526316	0	33.68421	0.445385	6.727655549
39	25	6.5	bawah	15.10526316	0	33.68421	0.445385	6.727655549
	25.5		atas	15.47894737	0	33.68421	0.445385	6.894088839
40	25.5	7.5	bawah	15.47894737	0	33.68421	0.445385	6.894088839
	26		atas	15.85263158	0	33.68421	0.445385	7.06052213
41	26	8.5	bawah	15.85263158	0	33.68421	0.445385	7.06052213
	26.5		atas	16.22631579	0	33.68421	0.445385	7.226955421
42	26.5	9.5	bawah	16.22631579	0	33.68421	0.445385	7.226955421
	27		atas	16.6	0	33.68421	0.445385	7.393388711

Tabel 5. 23 Tekanan Air Pori Tanah

Depth (m)	σ_w (t/m ²)
0	0
6	6
27	0

Nilai tekanan tanah yang telah dihitung kemudian diubah menjadi beban terpusat di tiap meter kedalaman *sheet pile*. Nilai beban terpusat tersebut merupakan luas 1 x 1 meter dari tekanan tanah. Rekapitulasi nilai beban terpusat di depan *sheet pile* dan nilai K_s ditunjukkan pada Tabel 5.24. Rekapitulasi nilai beban terpusat di belakang *sheet pile* dan nilai K_s ditunjukkan pada Tabel 5.25. nilai beban terpusat dan nilai K_s yang telah didapatkan kemudian diinput kedalam program bantu SAP2000 untuk mendapatkan bidang momen yang dihasilkan melalui beban-beban tersebut. panjang *sheet pile* ditentukan dari bidang momen yang dihasilkan, ketika momen menunjukkan nilai mendekati 0 atau 0 maka pada titik tersebut merupakan panjang *sheet pile*. Nilai momen mendekati 0 terletak pada kedalaman 17 m seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.17. Sehingga kedalaman *sheet pile* yang digunakan adalah 17 m yang dikalikan $SF=1.25$ yaitu 21.25 m \approx 22 m.



Gambar 5. 17 Output Bidang Momen Program Bantu SAP2000

Tabel 5. 24 Rekapitulasi
Nilai Beban Terpusat Di
Depan *Sheet Pile* Dan Nilai
Ks

Depth (m)	P0	Ks
0	0.844444	1022.727
1	2.066667	1022.727
2	3.011111	1022.727
3	2.696566	1193.182
4	2.072044	1193.182
5	2.280182	1562.5
6	2.546066	1562.5
7	2.820898	1562.5
8	3.154114	2225.379
9	3.367043	1704.545
10	3.581865	1704.545
11	3.73394	2509.47
12	4.066807	2509.47
13	4.316457	2509.47
14	4.73254	2509.47
15	5.065406	2509.47
16	5.398273	2509.47
17	5.731139	2509.47
18	6.064006	2509.47
19	6.396873	2509.47
20	6.729739	2509.47
21	7.062606	2509.47
22	7.395472	2509.47
23	7.728339	2509.47
24	8.061206	2509.47
25	8.394072	2509.47
26	8.726939	2509.47
27	4.488294	2509.47

Tabel 5. 25 Rekapitulasi
Nilai Beban Terpusat Di
Belakang *Sheet Pile* Dan
Nilai *Ks*

Depth (m)	P0	Ks
6.5	0.861566	1562.5
7.5	1.153774	2225.379
8.5	1.464544	2225.379
9.5	1.67617	1704.545
10.5	1.945137	2509.47
11.5	2.233957	2509.47
12.5	2.566823	2509.47
13.5	2.89969	2509.47
14.5	3.232556	2509.47
15.5	3.565423	2509.47
16.5	3.89829	2509.47
17.5	4.231156	2509.47
18.5	4.564023	2509.47
19.5	4.896889	2509.47
20.5	5.229756	2509.47
21.5	5.562623	2509.47
22.5	5.895489	2509.47
23.5	6.228356	2509.47
24.5	6.561222	2509.47
25.5	6.894089	2509.47
26.5	7.226955	2509.47

Setelah mendapatkan kedalaman *sheet pile*, kemudian menghitung nilai tekanan tanah dan tekanan air pori sesuai dengan kedalaman *sheet pile* yang didapatkan sebelumnya (22 m). Nilai tekanan tanah yang didapatkan kemudian diubah menjadi beban terpusat di setiap meter *sheet pile*. Rekapitulasi nilai beban terpusat di depan *sheet pile*, aktif minimum dan nilai K_s ditunjukkan pada Tabel 5.26. Rekapitulasi nilai beban terpusat di belakang *sheet pile*, pasif maksimum, dan nilai K_s ditunjukkan pada Tabel 5.27. Tekanan air pori ditunjukkan pada Tabel 5.28.

Tabel 5. 26 Rekapitulasi Nilai Beban Terpusat Di Depan *Sheet Pile*, Aktif Minimum Dan Nilai K_s

Depth (m)	P0	Pa Min	Ks
0	0.844444	0	1022.727
1	2.066667	0	1022.727
2	3.011111	0	1022.727
3	2.696566	0.625313	1193.182
4	2.072044	1.3799	1193.182
5	2.280182	1.505816	1562.5
6	2.546066	1.681404	1562.5
7	2.820898	1.862901	1562.5
8	3.154114	2.091679	2225.379
9	3.367043	2.213031	1704.545
10	3.581865	2.336459	1704.545
11	3.73394	2.401842	2509.47
12	4.066807	2.615957	2509.47
13	4.316457	2.830072	2509.47
14	4.73254	3.044187	2509.47
15	5.065406	3.258302	2509.47
16	5.398273	3.472418	2509.47
17	5.731139	3.686533	2509.47
18	6.064006	3.900648	2509.47
19	6.396873	4.114763	2509.47
20	6.729739	4.328878	2509.47
21	7.062606	4.542993	2509.47
22	7.395472	4.757108	2509.47

Tabel 5. 27 Rekapitulasi Nilai Beban Terpusat Di Belakang *Sheet Pile*, Pasif Maksimum, Dan Nilai K_s

Depth (m)	P0	Pp Max	Ks
6.5	0.861566	0.853169	1562.5
7.5	1.153774	2.64348	2225.379
8.5	1.464544	4.524164	2225.379
9.5	1.67617	6.85963	1704.545
10.5	1.945137	9.395263	2509.47
11.5	2.233957	12.27186	2509.47
12.5	2.566823	14.88055	2509.47
13.5	2.89969	17.48923	2509.47
14.5	3.232556	20.09792	2509.47
15.5	3.565423	22.70661	2509.47
16.5	3.89829	25.3153	2509.47
17.5	4.231156	27.92399	2509.47
18.5	4.564023	30.53268	2509.47
19.5	4.896889	33.14136	2509.47
20.5	5.229756	35.75005	2509.47
21.5	5.562623	38.35874	2509.47

Tabel 5. 28 Tekanan Air Pori

Depth (m)	σ_w (t/m ²)
0	0
6	6
22	0

Nilai tersebut kemudian diinput kedalam program bantu *SAP2000* untuk mendapatkan nilai defleksi *sheet pile*. Nilai defleksi di tiap titik *sheet pile* pada iterasi 1 ditunjukkan pada Tabel 5.29.

Tabel 5. 29 Nilai Defleksi Di Tiap Titik *Sheet Pile* Pada Iterasi 1

Depth (m)	Defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
1	0	6.5	-0.002965
2	0.001266	7.5	-0.002481
3	0.002344	8.5	-0.00204
4	0.003099	9.5	-0.001683
5	0.003476	10.5	-0.001397
6	0.003482	11.5	-0.001183
7	0.003187	12.5	-0.001035
8	0.002725	13.5	-0.000935
9	0.002252	14.5	-0.000863
10	0.001854	15.5	-0.000802
11	0.001533	16.5	-0.000741
12	0.001282	17.5	-0.000668
13	0.001104	18.5	-0.000574
14	0.000982	19.5	-0.00045
15	0.000899	20.5	-0.000289
16	0.000835	21.5	-0.000096
17	0.000775		
18	0.000709		
19	0.000627		
20	0.00052		
21	0.000378		
22	0.000199		
23	0		

Nilai defleksi tersebut digunakan dalam perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_a = P \text{ at rest} - \delta \times k_s < P_{a \text{ min}} ; A \approx 1 \text{ m}^2$$

$$P_p = P \text{ at rest} + \delta \times k_s > P_{p \text{ max}} ; A \approx 1 \text{ m}^2$$

Apabila nilai $P_a < P_{a \text{ min}}$ maka digunakan nilai $P_{a \text{ min}}$ dan menghilangkan pegas tanah. Apabila nilai $P_p > P_{p \text{ max}}$ maka digunakan nilai $P_{p \text{ max}}$ dan menghilangkan pegas tanah. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di depan *sheet pile* pada

iterasi 2 ditunjukkan pada Tabel 5.30. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di belakang *sheet pile* pada iterasi 2 ditunjukkan pada Tabel 5.31. Kemudian nilai-nilai tersebut diinput lagi kedalam program bantu SAP2000 dan mencari nilai defleksi pada kondisi tersebut.

Tabel 5. 30 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Depan *Sheet Pile* Pada Iterasi 2

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pa min	Pa	Pa Actual	Spring	
0	0.844444444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES	1022.727
1	2.066666667	0.001266	1022.727	0	0.771894	2.066666667	YES	1022.727
2	3.011111111	0.002344	1022.727	0	0.613838	3.011111111	YES	1022.727
3	2.696565583	0.003099	1193.182	0.625313	-1.0011	0.625312578	NO	0
4	2.072043986	0.003476	1193.182	1.3799	-2.07546	1.379899773	NO	0
5	2.280182157	0.003482	1562.5	1.505816	-3.16044	1.505815718	NO	0
6	2.546066111	0.003187	1562.5	1.681404	-2.43362	1.681403548	NO	0
7	2.820898082	0.002725	1562.5	1.862901	-1.43691	1.862900584	NO	0
8	3.154113943	0.002252	2225.379	2.091679	-1.85744	2.091678967	NO	0
9	3.367042866	0.001854	1704.545	2.213031	0.206816	2.213031323	NO	0
10	3.581865105	0.001533	1704.545	2.336459	0.968797	2.33645856	NO	0
11	3.73393999	0.001282	2509.47	2.401842	0.5168	2.401842037	NO	0
12	4.066806571	0.001104	2509.47	2.615957	1.296352	2.615957141	NO	0
13	4.316456507	0.000982	2509.47	2.830072	1.852157	2.830072245	NO	0
14	4.732539734	0.000899	2509.47	3.044187	2.476526	3.044187348	NO	0
15	5.065406315	0.000835	2509.47	3.258302	2.969999	3.258302452	NO	0
16	5.398272896	0.000775	2509.47	3.472418	3.453434	3.472417555	NO	0
17	5.731139477	0.000709	2509.47	3.686533	3.951925	5.731139477	YES	2509.47
18	6.064006058	0.000627	2509.47	3.900648	4.490569	6.064006058	YES	2509.47
19	6.39687264	0.00052	2509.47	4.114763	5.091948	6.39687264	YES	2509.47
20	6.729739221	0.000378	2509.47	4.328878	5.78116	6.729739221	YES	2509.47
21	7.062605802	0.000199	2509.47	4.542993	6.563221	7.062605802	YES	2509.47
22	7.395472383	0	2509.47	4.757108	7.395472	7.395472383	YES	2509.47

Tabel 5. 31 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Belakang *Sheet Pile* Pada Iterasi 2

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp max	Pp	Pp Actual	Spring	
6.5	0.861566	-0.002965	1562.5	0.853169	5.494379	0.853169	NO	0
7.5	1.153774	-0.002481	2225.379	2.64348	6.674938	2.6434797	NO	0
8.5	1.464544	-0.00204	2225.379	4.524164	6.004316	4.5241636	NO	0
9.5	1.67617	-0.001683	1704.545	6.85963	4.54492	1.6761703	YES	1704.545
10.5	1.945137	-0.001397	2509.47	9.395263	5.450866	1.9451373	YES	2509.47
11.5	2.233957	-0.001183	2509.47	12.27186	5.202659	2.2339567	YES	2509.47
12.5	2.566823	-0.001035	2509.47	14.88055	5.164124	2.5668233	YES	2509.47
13.5	2.89969	-0.000935	2509.47	17.48923	5.246044	2.8996899	YES	2509.47
14.5	3.232556	-0.000863	2509.47	20.09792	5.398229	3.2325564	YES	2509.47
15.5	3.565423	-0.000802	2509.47	22.70661	5.578018	3.565423	YES	2509.47
16.5	3.89829	-0.000741	2509.47	25.3153	5.757807	3.8982896	YES	2509.47
17.5	4.231156	-0.000668	2509.47	27.92399	5.907482	4.2311562	YES	2509.47
18.5	4.564023	-0.000574	2509.47	30.53268	6.004458	4.5640228	YES	2509.47
19.5	4.896889	-0.00045	2509.47	33.14136	6.026151	4.8968894	YES	2509.47
20.5	5.229756	-0.000289	2509.47	35.75005	5.954993	5.2297559	YES	2509.47
21.5	5.562623	-0.000096	2509.47	38.35874	5.803532	5.5626225	YES	2509.47

Langkah sebelumnya diulangi hingga perbedaan defleksi mendekati 0. Proses iterasi dapat dilihat pada lampiran. Pada iterasi ke-6, perbedaan nilai defleksi dan beban lateral sudah mendekati 0 sehingga proses iterasi dapat dihentikan. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di depan *sheet pile* pada iterasi 6 ditunjukkan pada Tabel 5.32. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah di belakang *sheet pile* pada iterasi 6 ditunjukkan pada Tabel 5.33. Nilai defleksi *sheet pile* pada iterasi terakhir ditunjukkan dalam Tabel 5.34 dan Gambar 5.18.

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di Depan
Sheet Pile Pada Iterasi 6

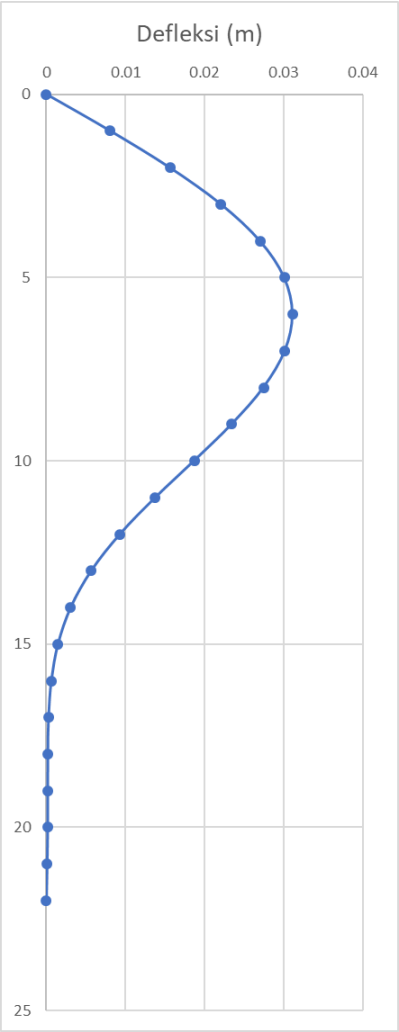
Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pa min	Pa	Pa Actual	Spring	
0	0.844444444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES	1022.727
1	2.066666667	0.00809	1022.727	0	-6.2072	0	NO	0
2	3.011111111	0.015627	1022.727	0	-12.971	0	NO	0
3	2.696565583	0.022093	1193.182	0.625313	-23.6644	0.625312578	NO	0
4	2.072043986	0.027033	1193.182	1.3799	-30.1832	1.379899773	NO	0
5	2.280182157	0.030107	1562.5	1.505816	-44.762	1.505815718	NO	0
6	2.546066111	0.031144	1562.5	1.681404	-46.1164	1.681403548	NO	0
7	2.820898082	0.03018	1562.5	1.862901	-44.3354	1.862900584	NO	0
8	3.154113943	0.027472	2225.379	2.091679	-57.9815	2.091678967	NO	0
9	3.367042866	0.023459	1704.545	2.213031	-36.6199	2.213031323	NO	0
10	3.581865105	0.0187	1704.545	2.336459	-28.2931	2.33645856	NO	0
11	3.73393999	0.013798	2509.47	2.401842	-30.8917	2.401842037	NO	0
12	4.066806571	0.009316	2509.47	2.615957	-19.3114	2.615957141	NO	0
13	4.316456507	0.005678	2509.47	2.830072	-9.93231	2.830072245	NO	0
14	4.732539734	0.003081	2509.47	3.044187	-2.99914	3.044187348	NO	0
15	5.065406315	0.001467	2509.47	3.258302	1.384014	3.258302452	NO	0
16	5.398272896	0.000615	2509.47	3.472418	3.854949	5.398272896	YES	2509.47
17	5.731139477	0.000263	2509.47	3.686533	5.071149	5.731139477	YES	2509.47
18	6.064006058	0.000172	2509.47	3.900648	5.632377	6.064006058	YES	2509.47
19	6.39687264	0.000171	2509.47	4.114763	5.967753	6.39687264	YES	2509.47
20	6.729739221	0.000159	2509.47	4.328878	6.330734	6.729739221	YES	2509.47
21	7.062605802	0.000097	2509.47	4.542993	6.819187	7.062605802	YES	2509.47
22	7.395472383	0	2509.47	4.757108	7.395472	7.395472383	YES	2509.47

Tabel 5. 33 Rekapitulasi Perhitungan Tekanan Tanah Di
Belakang *Sheet Pile* Pada Iterasi 6

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp max	Pp	Pp Actual	Spring	
6.5	0.861566	-0.0309	1562.5	0.853169	49.14282	0.853169	NO	0
7.5	1.153774	-0.029018	2225.379	2.64348	65.72982	2.6434797	NO	0
8.5	1.464544	-0.025593	2225.379	4.524164	58.41866	4.5241636	NO	0
9.5	1.67617	-0.021132	1704.545	6.85963	37.69662	6.8596298	NO	0
10.5	1.945137	-0.016226	2509.47	9.395263	42.66379	9.3952631	NO	0
11.5	2.233957	-0.011469	2509.47	12.27186	31.01506	12.271857	NO	0
12.5	2.566823	-0.007367	2509.47	14.88055	21.05409	14.880546	NO	0
13.5	2.89969	-0.004242	2509.47	17.48923	13.54486	2.8996899	YES	2509.47
14.5	3.232556	-0.002159	2509.47	20.09792	8.650502	3.2325564	YES	2509.47
15.5	3.565423	-0.000959	2509.47	22.70661	5.972004	3.565423	YES	2509.47
16.5	3.89829	-0.00039	2509.47	25.3153	4.876983	3.8982896	YES	2509.47
17.5	4.231156	-0.000194	2509.47	27.92399	4.717993	4.2311562	YES	2509.47
18.5	4.564023	-0.000165	2509.47	30.53268	4.978085	4.5640228	YES	2509.47
19.5	4.896889	-0.000166	2509.47	33.14136	5.313461	4.8968894	YES	2509.47
20.5	5.229756	-0.000131	2509.47	35.75005	5.558496	5.2297559	YES	2509.47
21.5	5.562623	-0.000046	2509.47	38.35874	5.678058	5.5626225	YES	2509.47

Tabel 5. 34 Nilai Defleksi
Sheet Pile Pada Iterasi
Terakhir

Depth (m)	Defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	6.5	-0.0309
1	0.00809	7.5	-0.029018
2	0.015627	8.5	-0.025593
3	0.022093	9.5	-0.021132
4	0.027033	10.5	-0.016226
5	0.030107	11.5	-0.011469
6	0.031144	12.5	-0.007367
7	0.03018	13.5	-0.004242
8	0.027472	14.5	-0.002159
9	0.023459	15.5	-0.000959
10	0.0187	16.5	-0.00039
11	0.013798	17.5	-0.000194
12	0.009316	18.5	-0.000165
13	0.005678	19.5	-0.000166
14	0.003081	20.5	-0.000131
15	0.001467	21.5	-0.000046
16	0.000615		
17	0.000263		
18	0.000172		
19	0.000171		
20	0.000159		
21	0.000097		
22	0		



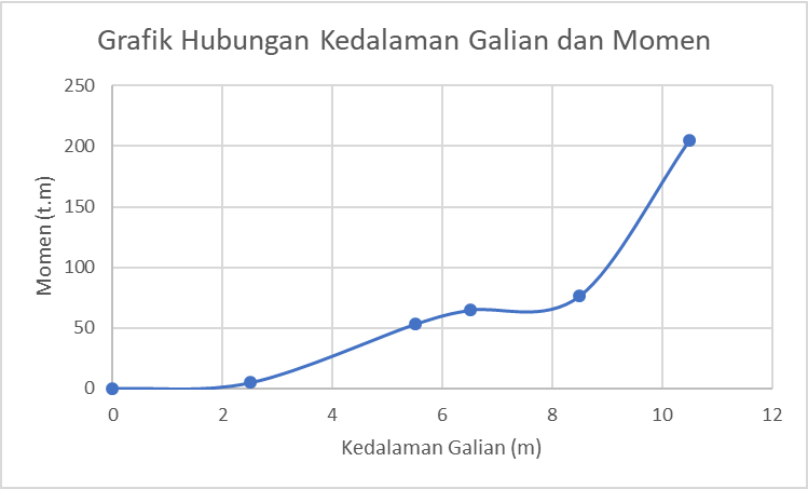
Gambar 5. 18 . Nilai
Defleksi *Sheet Pile* Pada
Iterasi Terakhir

5.2.2 Zoning Sheet Pile

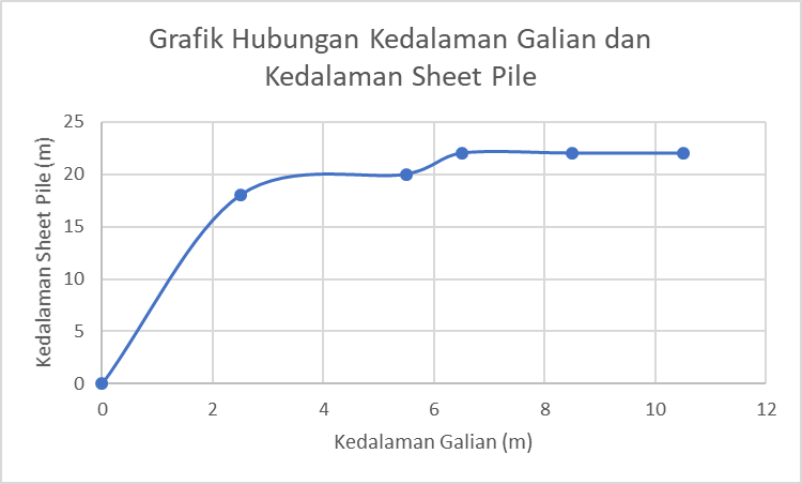
Konstruksi *Underpass* area terbuka memiliki elevasi galian yang berbeda-beda mulai dari 0 – 10.5 m. Oleh karena itu, dibutuhkan *zoning* terhadap kebutuhan *sheet pile* yang digunakan. *Zoning* dilakukan pada elevasi galian 2.5 m, 5.5 m, 6.5 m, 8.5 m, dan 10.5 m. Perhitungan *sheet pile* dilakukan seperti pada Subbab 5.2.1 yang ditunjukkan dalam Lampiran. Tabel 5.35 menunjukkan rekapitulasi kebutuhan *sheet pile* di beberapa titik galian. Gambar 5.19 menunjukkan grafik hubungan kedalaman galian dan nilai momen. Gambar 5.20 menunjukkan grafik hubungan kedalaman galian dan kedalaman *sheet pile*. Gambar 5.21 menunjukkan grafik hubungan kedalaman galian dan tebal *sheet pile*.

Tabel 5. 35 Rekapitulasi Kebutuhan *Sheet Pile* di Beberapa Titik Galian

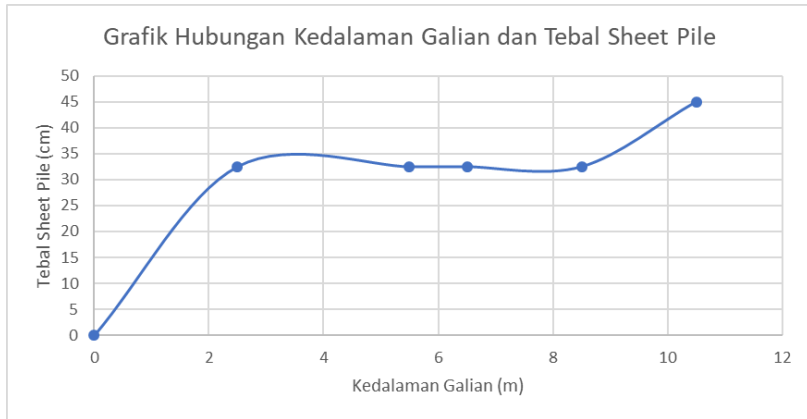
No	Kedalaman Galian (m)	Strut	Momen (t.m)	Tebal Sheet Pile (cm)	Type	Kedalaman Sheet Pile (m)
1	0	0	0	0	-	0
2	2.5	0	4.918	32.5	W-325 A 1000	18
3	5.5	1	53.03508	32.5	W-325 A 1000	20
4	6.5	1	64.74	32.5	W-325 A 1000	22
5	8.5	2	76.51673	32.5	W-325 A 1000	22
6	10.5	2	204.99	45	W-450 A 1000	22



Gambar 5. 19 Grafik Hubungan Kedalaman Galian Dan Nilai Momen



Gambar 5. 20 Grafik Hubungan Kedalaman Galian Dan Kedalaman *Sheet Pile*



Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Kedalaman Galian dan Tebal *Sheet Pile*

5.2.3 Kontrol *Uplift*

i. Model 1 (Galian 10.5 m)

Kontrol akibat *uplift pressure* dilakukan pada bagian plat *Sheet pile* yang menyentuh tanah pada lapisan terdalam. Dilakukan kontrol kestabilan terhadap gaya angkat ke atas akibat tekanan air tanah pada struktur *Sheet Pile* tersebut. Seluruh beban tekanan air akan ditahan oleh berat total dari struktur *Sheet Pile* dan friksi *sheet pile*.

Kedalaman galian pada model 1 adalah 10.5 m dari permukaan tanah dengan lebar *underpass* adalah 20.6 m dengan tebal plat *underpass* diasumsikan 1 m dan tebal *sheet pile* adalah 0.8 m.

Besar dari *uplift pressure* yang dihasilkan adalah:

$$F = 10.5 \text{ m} \times 1 \text{ t/m}^3 = 10.5 \text{ t/m}^2$$

$$\Sigma F = 10.5 \text{ t/m}^2 \times 20.6 \text{ m} = 216.3 \text{ t/m}'$$

Tabel 5. 37 Perhitungan Qs Di Depan Dinding Yang Tidak Digali

Depth (m)	γ (KN/m ³)	ϕ	Cu (t/m ²)	D (m)	p (m)	Kp	$\sin\delta$	Qs (t/m)
10.5	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
11								
11.5								
12	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
12.5								
13								
13.5	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
14								
14.5								
15	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
15.5								
16								
16.5	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
17								
17.5								
18	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
18.5								
19								
19.5	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
20								
20.5								
21	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
21.5								
22								

$$\Sigma Q_s \text{ yang digali} = 0 + 4.55 + 4.97 + 4.97 + 5.05 + 5.66 = 25.20 \text{ t/m'}$$

$$\Sigma Q_s \text{ yang tidak digali} = 6.8145 + 6.1845 + 6.1845 + 6.1845 + 6.1845 + 6.1845 + 6.1845 + 6.1845 = 54.516 \text{ t/m'}$$

$$\Sigma Q_u = 2 \times (25.20 + 54.516 \times 2) + 84.48 + 49.44 = 402.4037 \text{ t/m'}$$

$$Q_{all} = \frac{402.4037}{1.5} = 268.4037 \text{ t/m'} > 216.3 \text{ t/m'} \text{ (OK)}$$

ii. Model 2 (Galian 6 m)

Kontrol akibat *uplift pressure* dilakukan pada bagian plat *Sheet pile* yang menyentuh tanah pada lapisan terdalam. Dilakukan kontrol kestabilan terhadap gaya angkat ke atas akibat tekanan air tanah pada struktur *Sheet Pile* tersebut. Seluruh beban tekanan air akan ditahan oleh berat total dari struktur *Sheet Pile* dan friksi *sheet pile*.

Kedalaman galian pada model 2 adalah 6 m dari permukaan tanah dengan lebar *underpass* adalah 20.6 m dengan tebal plat *underpass* diasumsikan 1 m dan tebal *sheet pile* adalah 0.8 m.

Besar dari *uplift pressure* yang dihasilkan adalah:

$$\begin{aligned} F &= 6 \text{ m} \times 1 \text{ t/m}^3 = 6 \text{ t/m}^2 \\ \Sigma F &= 6 \text{ t/m}^2 \times 20.6 \text{ m} = 123.6 \text{ t/m} \end{aligned}$$

Sehingga beban yang harus ditahan oleh struktur *Underpass* pada model 1 adalah 216.3 t/m'. Berikut adalah perhitungan berat struktur *Underpass* dengan tanah:

$$W_{sheet\ pile} = 2.4 \times 0.8 \times 22 \times 2 = 84.48 \text{ t/m'}$$

$$W_{plat\ jalan} = 2.4 \times 1 \times 20.6 = 49.44 \text{ t/m'}$$

Perhitungan friksi *sheet pile* dengan tanah ditunjukkan dalam Tabel 5.38 dan 5.39. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan friksi *sheet pile* dengan tanah adalah sebagai berikut:

$$Q_s = (K_p \cdot \sin \delta) \cdot \gamma \cdot \frac{D^2}{2} \cdot p$$

Tabel 5. 38 Perhitungan Qs Di Depan Dinding Yang Digali

Depth (m)	γ (KN/m ³)	ϕ	Cu (t/m ²)	D (m)	p (m)	Kp	sin δ	Qs (t/m)
0	17.55555556	0	8	3	2.6	1	0	0
0.5								
1								
1.5								
2								
2.5	15.05263158	30.10526	0	1.5	2.6	3.012762	-0.34317	-4.55212
3								
3.5								
4								
4.5								
5	15.47368421	30.94737	0	1.5	2.6	3.117348	-0.35236	-4.97151
5.5								

Tabel 5. 39 Perhitungan Qs Di Depan Dinding Yang Tidak Digali

Depth (m)	γ (KN/m ³)	ϕ	Cu (t/m ²)	D (m)	ρ (m)	K _p	$\sin\delta$	Qs (t/m)
6	15.47368421	30.94737	0	1.5	2.6	3.117348	-0.35236	-4.97151
6.5								
7								
7.5	16.21052632	30.52632	0	1.5	2.6	3.064496	-0.34777	-5.05326
8								
8.5								
9	16.10526316	32.21053	0	1.5	2.6	3.282946	-0.36607	-5.66143
9.5								
10								
10.5	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
11								
11.5								
12	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
12.5								
13								
13.5	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
14								
14.5								
15	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
15.5								
16								
16.5	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
17								
17.5								
18	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
18.5								
19								
19.5	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
20								
20.5								
21	17.47368421	33.68421	0	1.5	2.6	3.490498	-0.38198	-6.8145
21.5								
22								

$$\Sigma Q_s \text{ yang digali} = 0 + 4.55 + 4.97 + 4.97 = 9.52363 \text{ t/m'}$$

$$\Sigma Q_s \text{ yang tidak digali} = 4.97 + 5.053 + 5.66 + 6.8145 + 6.1845 + 6.1845 + 6.1845 + 6.1845 + 6.1845 + 6.1845 = 70.20 \text{ t/m'}$$

$$\Sigma Q_u = 2 \times (9.52 + 70.20 \times 2) + 84.48 + 49.44 = 433.736 \text{ t/m'}$$

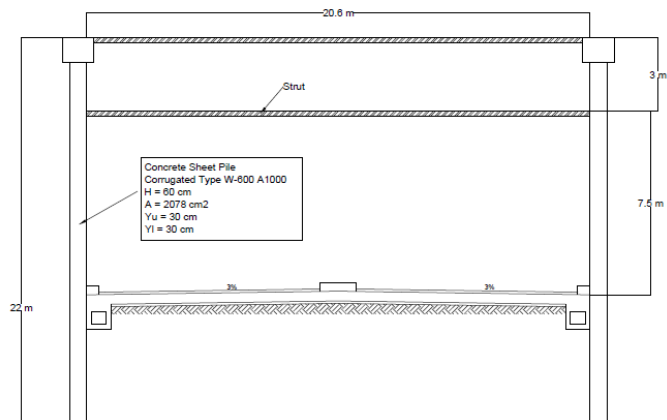
$$Q_{all} = \frac{433.736}{1.5} = 289.1574 \text{ t/m'} > 123.6 \text{ t/m'} \text{ (OK)}$$

5.2.4 Perhitungan *Strut*

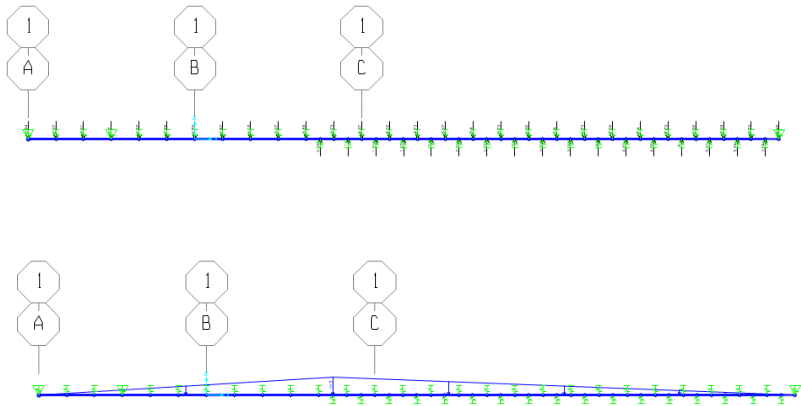
1) Model 1

Sistem pengaku untuk membantu menahan tekanan lateral tanah pada *sheet pile* direncanakan menggunakan *strut* baja. Gambar 5.22 menunjukkan model perencanaan strut. Gambar 5.23 menunjukkan pembebanan pada *strut*. Direncanakan menggunakan profil WF dengan *section properties* sebagai berikut:

d	= 194 mm	Fy	= 250 Mpa
bf	= 150 mm	ix	= 8.3 cm
tf	= 9 mm	iy	= 3.61 cm
tw	= 6 mm	Zx	= 296 cm ³
A	= 39.01 cm ²	Zy	= 103 cm ³
q	= 30.6 kg/m	Sx	= 277 cm ³
Ix	= 2690 cm ⁴	Sy	= 67.6 cm ³
Iy	= 507 cm ⁴	r	= 13 mm
h	= 150 mm	E	= 200000



Gambar 5. 22 Model Perencanaan *Strut*



Gambar 5. 23 Pembebanan Pada *Strut*

Melalui program bantu *SAP2000* didapatkan nilai P_u tekan pada kedua titik *strut*:

$$P_{u1} = 13.2 \text{ ton} = 13200 \text{ kg}$$

$$P_{u2} = 23.75 \text{ ton} = 23750 \text{ kg}$$

- Kontrol Penampang Sayap

Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{150}{2.9} = 8.33$$

$$\lambda_R = \frac{250}{\sqrt{fy}} = \frac{250}{\sqrt{250}} = 15.81$$

$\lambda < \lambda_R \rightarrow$ Penampang tidak langsing

Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{150}{6} = 25$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{fy}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42.06$$

$\lambda < \lambda_R \rightarrow$ Penampang tidak langsing

- Kontrol kekuatan *strut*

Panjang *strut*:

$$L = 20.6 \text{ m} = 2060 \text{ cm}$$

$$\text{Arah X} \rightarrow \lambda_x = \frac{L}{ix} = \frac{2060}{8.3} = 248.1928$$

$$\text{Arah Y} \rightarrow \lambda_y = \frac{L}{iy} = \frac{2060}{3.61} = 570.6371$$

$$\lambda_y \rightarrow \lambda = 570.6371$$

Kontrol tekan

$$\begin{aligned} P_{\text{maks}} &= 1,1 \times R_y \times F_y \times A_g / w \\ &= 1.1 \times 1.5 \times 2500 \times 39.01 / 1.517 \\ &= 106075 \text{ kg} \end{aligned}$$

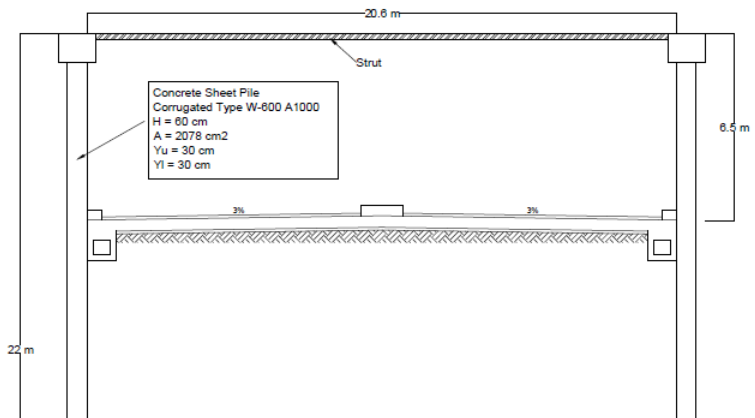
$$\phi P_n = 0.9 \times 106075 \text{ kg} = 95442.078 \text{ kg}$$

$$\phi P_n > P_u \rightarrow 95442.078 \text{ kg} > 23750 \text{ kg (OK)}$$

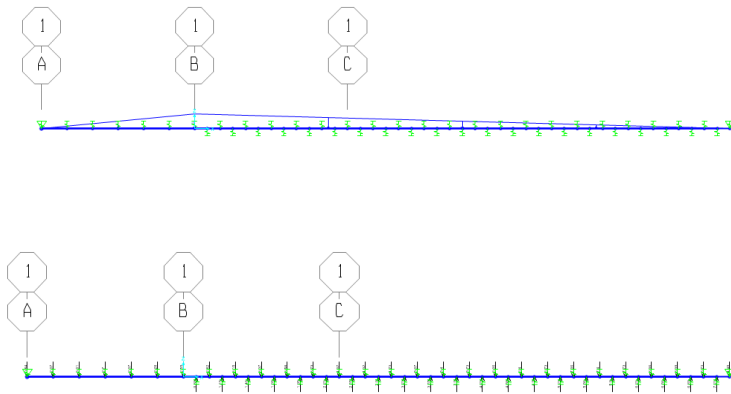
2) Model 2

Sistem pengaku untuk membantu menahan tekanan lateral tanah pada *sheet pile* direncanakan menggunakan *strut* baja. Gambar 5.24 menunjukkan model perencanaan strut. Gambar 5.25 menunjukkan pembebanan pada *strut*. Direncanakan menggunakan profil WF dengan *section properties* sebagai berikut:

d	= 194 mm	F _y	= 250 Mpa
bf	= 150 mm	i _x	= 8.3 cm
tf	= 9 mm	i _y	= 3.61 cm
tw	= 6 mm	Z _x	= 296 cm ³
A	= 39.01 cm ²	Z _y	= 103 cm ³
q	= 30.6 kg/m	S _x	= 277 cm ³
I _x	= 2690 cm ⁴	S _y	= 67.6 cm ³
I _y	= 507 cm ⁴	r	= 13 mm
h	= 150 mm	E	= 200000



Gambar 5. 24 Model Perencanaan *Strut*



Gambar 5. 25 Pembebanan Sheet Pile

Melalui program bantu *SAP2000* didapatkan nilai P_u tekan pada kedua titik *strut*:

$$P_{u1} = 7.04 \text{ ton} = 7040 \text{ kg}$$

- Kontrol Penampang Sayap

Pelat Sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{150}{2.9} = 8.33$$

$$\lambda_R = \frac{250}{\sqrt{fy}} = \frac{250}{\sqrt{250}} = 15.81$$

$\lambda < \lambda_R \rightarrow$ Penampang tidak langsing

Pelat Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{150}{6} = 25$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42.06$$

$\lambda < \lambda_R \rightarrow$ Penampang tidak langsing

- Kontrol kekuatan *strut*

Panjang *strut*:

$$L = 20.6 \text{ m} = 2060 \text{ cm}$$

$$\text{Arah X} \rightarrow \lambda_x = \frac{L}{i_x} = \frac{2060}{8.3} = 248.1928$$

$$\text{Arah Y} \rightarrow \lambda_y = \frac{L}{i_y} = \frac{2060}{3.61} = 570.6371$$

$$\lambda_y \rightarrow \lambda = 570.6371$$

Kontrol tekan

$$\begin{aligned} P_{\text{maks}} &= 1,1 \times R_y \times F_y \times A_g / w \\ &= 1.1 \times 1.5 \times 2500 \times 39.01 / 1.517 = 106075 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 0.9 \times 106075 \text{ kg} = 95442.078 \text{ kg}$$

$$\phi P_n > P_u \rightarrow 95442.078 \text{ kg} > 7040 \text{ kg}$$

5.3 Metode Pelaksanaan Geoteknik

Urutan pengerjaan geoteknik *underpass* terdiri dari 2 bagian, yaitu:

1. Pengerjaan konstruksi area terbuka *sheet pile*
2. Pengerjaan konstruksi area tertutup *jacked box tunnel*

5.3.1 Pengerjaan *Sheet Pile*

Langkah – langkah dalam pengerjaan *sheet pile* adalah:

1. Mobilisasi *sheet pile* ke area kerja

Sheet pile yang digunakan adalah jenis beton *sheet pile* tipe CCSP (Corrugated Concrete Sheet Pile) W-600 A1000 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.26 dengan panjang yang bervariasi sesuai dengan perhitungan. *Sheet pile* kemudian dipindahkan dari tempat penyimpanan menuju area kerja agar mempermudah dalam proses pemancangan.



Gambar 5. 26 *Corrugated Concrete Sheet Pile*

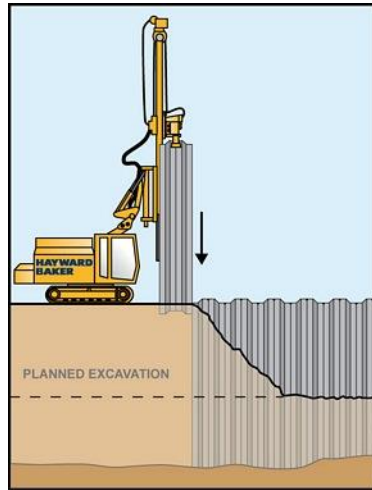
2. Melakukan pemasangan guide beam
Pemasangan guide beam bertujuan agar ketika proses pemancangan, sheet pile dapat tertanam tegak lurus. Pemasangan guide beam dilakukan berdasarkan marking yang telah ditentukan sesuai dengan gambar

kerja yang telah disetujui. Gambar 5.27 menunjukkan guide beam.



Gambar 5. 27 Guide Beam

3. Melakukan handling *sheet pile*
Sheet pile beton diangkat menggunakan crane dan diletakkan didekat area pemancangan, selanjutnya beton *sheet pile* dipindahkan dengan *winch* dan diletakkan pada guide beam yang telah terpasang.
4. Melakukan pemancangan *sheet pile*
Setelah handling *sheet pile* selesai dilakukan (*sheet pile* beton yang sudah diset pada guide beam), alat pancang diatur kelurusannya, kemudian *sheet pile* beton dikunci pada guide beam dengan cara dijepit dan dilas. Setelah tripod pancang dan hammer diset maka pekerjaan pemancangan *sheet pile* beton siap dilaksanakan sampai dengan elevasi yang telah ditentukan dalam gambar kerja. Proses pemancangan *sheet pile* ditunjukkan dalam Gambar 5.28.

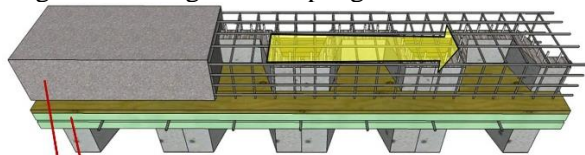


Gambar 5. 28 Proses Pemancangan Sheet Pile

Pemasangan tahap berikutnya adalah memancang *sheet pile* beton satu persatu sampai kedalam yang diinginkan. Dalam rangka menjaga kerapian *sheet pile* agar tidak keluar dari interlocking selama pemasangan, dilakukan monitoring terhadap guide beam yang telah terpasang.

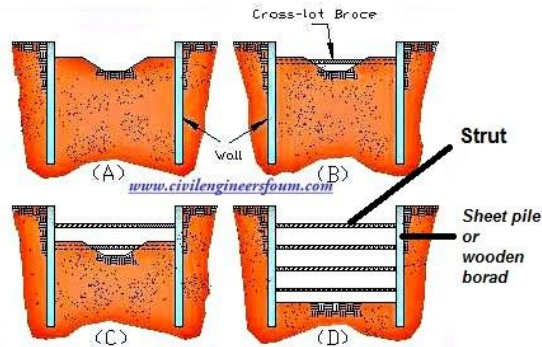
5. Melakukan pemotongan dan penutupan kepala tiang *sheet pile*

Bagian atas *sheet pile* akan dirangkai oleh balok beton (*capping beam*) agar kepala *sheet pile* dapat menyatu dengan baik dengan balok pengikat.



Gambar 5. 29 Pemasangan Capping Beam Pada Kepala Sheet Pile

6. Pemasangan *strut* pertama



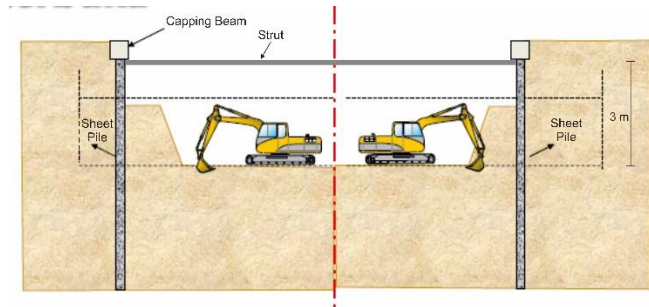
Gambar 5. 30 Pemasangan *strut*

7. Melakukan *dewatering*

Tinggi muka air tanah berada di atas permukaan tanah, sehingga dalam proses penggalian, air akan menggenangi seluruh *underpass*. Dalam rangka menanggulangi hal tersebut, akan dilakukan *dewatering* dengan cara memompa air tanah sehingga elevasi muka air tanah berada dibawah elevasi tanah setelah proses penggalian dilakukan. Kemudian air tanah yang telah dipompa, dialirkan ke saluran yang telah dibuat sebelumnya dan terhubung ke saluran primer yang telah ada di sekitar lokasi proyek.

8. Melakukan penggalian tahap awal

Penggalian tanah tahap awal dilakukan hingga mencapai elevasi tanah yang diinginkan (3 m) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.31.



Gambar 5. 31 *Proses Penggalian Tanah*

9. Pemasangan strut kedua

Pemasangan strut kedua hanya dilakukan pada elevasi galian tanah *underpass* 10.5 m sampai dengan elevasi 9.5 m. Metode pelaksanaan strut kedua sama dengan pemasangan strut pertama, tetapi pemasangan strut kedua dilakukan setelah penggalian tanah tahap awal.

10. Penggalian tahap akhir

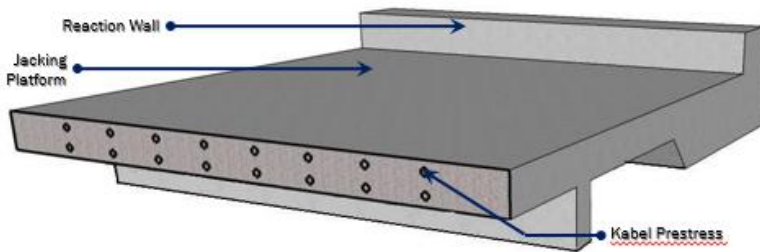
Penggalian tanah tahap akhir dilakukan menyesuaikan dengan kedalaman elevasi yang telah direncanakan sesuai dengan geometri jalan *underpass* seperti yang ditunjukkan dalam Lampiran.

5.3.2 Pekerjaan Jacked Box Tunnel

Langkah – langkah dalam pengerjaan konstruksi area tertutup *underpass* dengan metode *jacked box tunnel* adalah:

1. Pembuatan *jacking platform*

Jacking platform atau landasan jacking seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.32 merupakan landasan bagi segmen *box tunnel* mulai dari pengecoran hingga proses *jacking* ke dalam tanah. Gambar 5.33 menunjukkan proses pembuatan *jacking platform*.



Gambar 5. 32 *Jacking Platform*

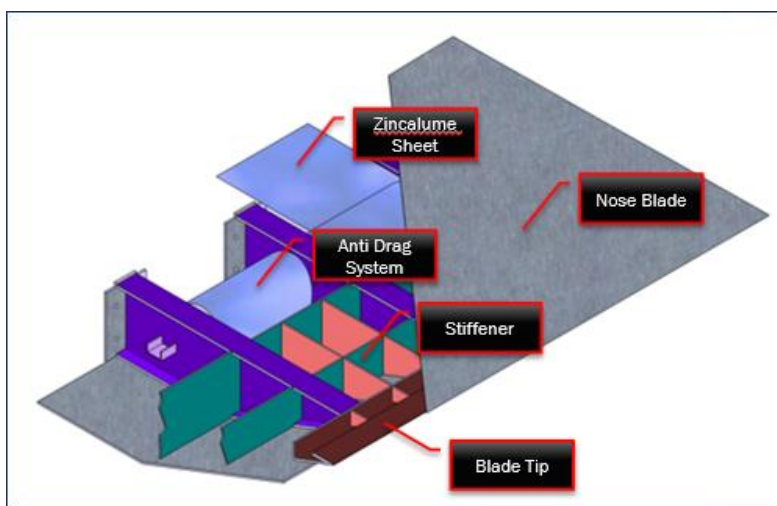


Gambar 5. 33 Proses Pembuatan *Jacking Platform*

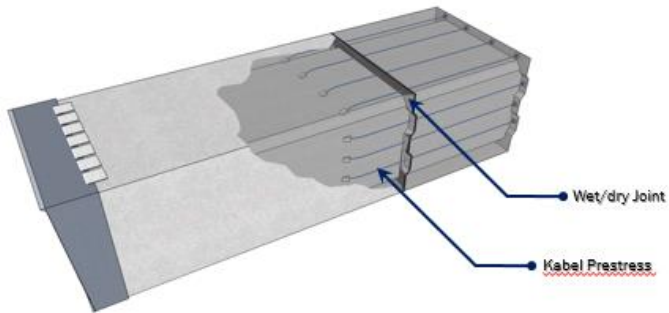
2. Melakukan pengecoran segmen *box tunnel*
 Pengecoran segmen *box tunnel* dilakukan seperti pada Gambar 5.34. Setelah itu, segmen 1 *box tunnel* dihubungkan dengan *nose blade/tunneling shield*. Detail *nose blade* ditunjukkan pada Gambar 5.35. Penghubung antar segmen menggunakan kabel prestress dan wet joint seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.36.



Gambar 5. 34 Pengecoran Segmen *Box Tunnel*



Gambar 5. 35 Detail *Nose Blade*



Gambar 5. 36 Penghubung Antar Segmen *Box Tunnel*

3. Instalasi alat *jacking*

Alat *jack hydraulic* yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.37 *Jack hydraulic* menumpu pada *spacer* dalam proses *jacking*. *Spacer* menumpu pada *reaction wall* yang ada pada *platform jacking* dan menyalurkan beban yang diterimanya dari *jack hydraulic*. *Spacer* berfungsi sebagai penambah jarak dorong dalam proses *jacking*.



Gambar 5. 37 *Jack Hydraulic*.

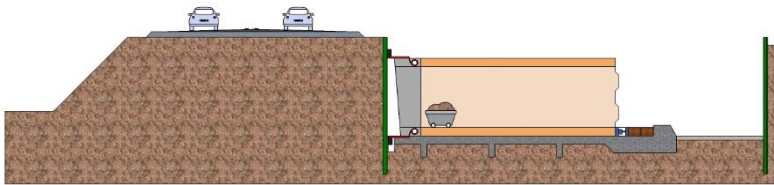
4. Melakukan proses *jacking box tunnel* ke dalam tanah. Setelah instalasi alat *jacking* dan segmen 1 *box tunnel* telah siap, maka dilakukan proses *jacking box tunnel* ke dalam tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.38. Sebelumnya, sekeliling *box tunnel* dilapisi oleh *anti drag system* yang berupa *zynclaume sheets* yang dilumuri dengan *grease*. Gulungan *zynclaume sheets* diinstal di dalam *nose blade* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.39 dan diikat pada dinding portal awal. Ilustrasi gambar langkah-langkah dalam proses *jacking* ditunjukkan dalam Gambar 5.40



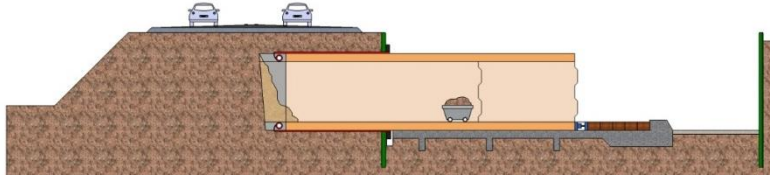
Gambar 5. 38 Persiapan Untuk Melakukan Proses *Jacking Box Tunnel* Ke Dalam Tanah



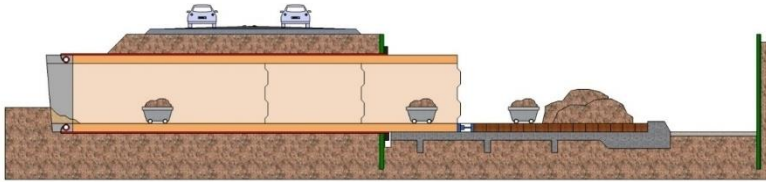
Gambar 5. 39 *Anti Drag System Yang Berupa Gulungan Zynclaume Sheets Diletakkan Didalam Nose Blade*



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. 40 Ilustrasi Langkah-Langkah Proses *Jacking Box Tunnel* Kedalam Tanah

5. Melakukan penggalian tanah dan *dewatering*
 Proses penggalian tanah dilakukan menggunakan *excavator* dan truk pengangkut tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.41. Karena tinggi muka air tanah berada pada permukaan tanah sehingga dalam proses penggalian, tunnel akan tergenang dengan air. Dalam menanggulangi hal tersebut, perlu dilakukan *dewatering* agar tunnel tidak tergenang dengan air.



Gambar 5. 41 Penggalian Tanah Dalam *Tunnel*

6. Melakukan proses *jacking box tunnel* ke dalam tanah untuk segmen berikutnya

Proses *jacking box tunnel* untuk segmen berikutnya memiliki tahapan pelaksanaan dengan proses *jacking* untuk segmen 1 *box tunnel*. Proses tersebut dilakukan hingga 10 segmen selesai tertanam di dalam tanah.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil perencanaan yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Tanah pada proyek *Underpass* cenderung memiliki jenis tanah yang sama (*granular*) tetapi memiliki konsistensi yang bervariasi.
2. Beban – beban yang bekerja pada dinding penahan tanah adalah:
 - *Surcharge*
 - Tanah
 - Air
 - Berat Struktur dinding penahan tanah
3. Dinding penahan tanah yang digunakan untuk konstruksi area tertutup *Underpass* adalah *Jacked Box Tunnel*. *Box Tunnel* terbuat dari beton bertulang dengan $f_c' 40$ dan $f_y 420$. *Box Tunnel* dibagi atas 11 segmen dengan panjang tiap segmen adalah 10 m. Lebar *Box Tunnel* adalah 20.6 m yang terdiri atas 2 jalur dengan lebar bersih masing – masing tiap jalur adalah 8.65 m serta tinggi bersih *Box Tunnel* adalah 6.5 m. Tebal plat atas, dinding dan bawah *Box Tunnel* adalah 1.1 m.
4. Dinding penahan tanah yang digunakan untuk konstruksi area terbuka *Underpass* adalah *Corrugated Concrete Sheet Pile* dengan jenis *Corrugated Type W-325 A1000* dan *W-450 A1000*. *Sheet Pile* dipasang pada kedalaman 18m – 22 m dengan variasi galian mulai dari 0 m sampai dengan 10.5 m yang dilengkapi dengan *strut*.
5. *Jacked Box Tunnel* dilengkapi dengan *anti drag system* untuk mengurangi friksi antara *Box Tunnel* dengan tanah. *Anti drag system* yang digunakan adalah *Zynclaume Sheets*

yang dilumuri dengan minyak pelumas (*grease effect*). Alat *Jack Hydraulic* yang dibutuhkan ada 6 buah dengan kapasitas tiap alat *Jack Hydraulic* adalah 1000 ton.

6. Metode pelaksanaan geoteknik *Underpass* terdiri atas 2 bagian, yaitu:

➤ *Sheet Pile*

Langkah-langkah dalam pengerjaan *sheet pile* adalah

- Mobilisasi *sheet pile* ke area kerja
- Melakukan pemasangan guide beam
- Melakukan handling *sheet pile*
- Melakukan pemancangan *sheet pile*
- Melakukan pemotongan dan penutupan kepala tiang *sheet pile*
- Pemasangan *strut* pertama
- Melakukan *dewatering*
- Melakukan penggalian tahap awal
- Pemasangan *strut* kedua
- Penggalian tahap akhir

➤ *Jacked Box Tunnel*

Langkah – langkah dalam pengerjaan konstruksi area tertutup *underpass* dengan metode *jacked box tunnel* adalah:

- Pembuatan *jacking platform*
- Melakukan pengecoran segmen *box tunnel*
- Instalasi alat *jacking*
- Melakukan proses *jacking box tunnel* ke dalam tanah
- Melakukan penggalian tanah dan *dewatering*
- Melakukan proses *jacking box tunnel* ke dalam tanah untuk segmen berikutnya

6.2 Saran

Berdasarkan proses analisa dan pembuatan laporan ini, penulis menyarankan untuk

1. Data tanah untuk perencanaan dinding penahan tanah ini diharapkan memiliki parameter data tanah yang lengkap sehingga perencanaan sesuai dengan yang sebenarnya
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai *Jacked Box Tunnel* lebih khususnya pada *Anti drag system* agar koefisien friksi dapat mendekati nilai 0.
3. Diperlukan pembuatan program iterasi dari metode perhitungan dinding penahan tanah dengan *stress and deflection: Beam on Elastic Foundation* dengan gap yang lebih kecil, *coefficient of subgrade reaction*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

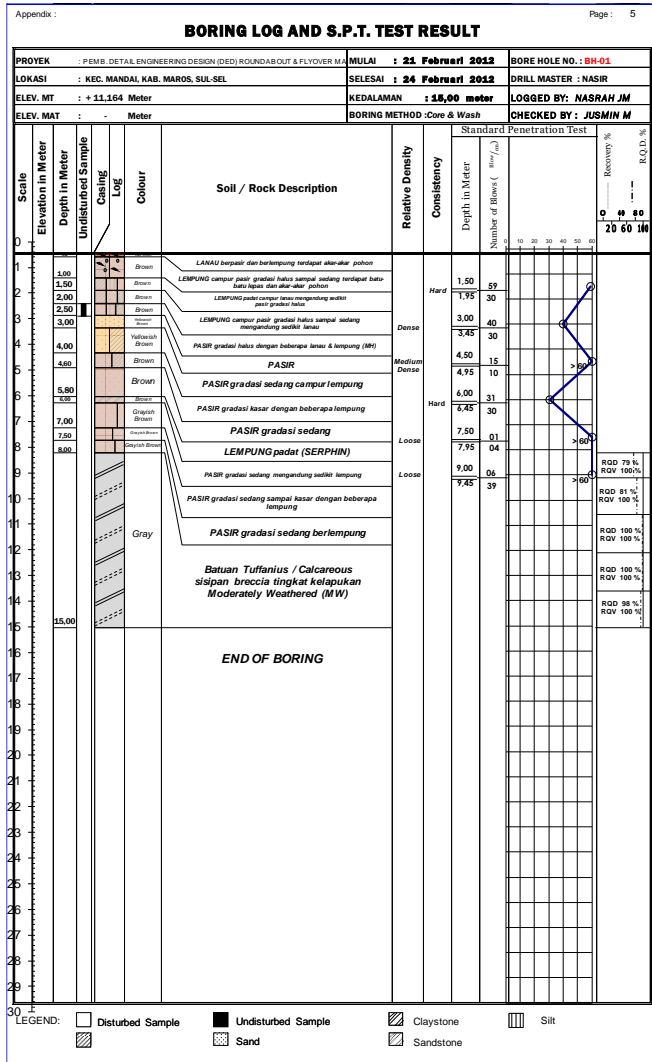
DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2013). **Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)**. Jakarta. BSNI.
- Bowles , J. E. (1996). **Foundation Analysis And Design**. Singapore:The McGraw-Hill Companies.
- Das, B. M. (1995). **Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)**. (N. Endah, & I. B. Mochtar, Trans.) Surabaya: Erlangga.
- Dept of The Navy. (1971). **Design Manual: Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures (NAVFAC DM-7)**. Naval Facilities Engineering Command.
- Menteri Pekerjaan Umum. (2011). **Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor :19/PRT/M/2011: Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan**. Jakarta: Pekerjaan Umum.
- Ou, C.-Y. (1954). **Deep Excavation Theory and Prcatice**. London: Taylor & Fracis Group.
- Principal Investigators. (2009). **Technical Manual For Design and Construction of Road Tunnels - Civil Elements**. New York: Parsons Brinckerhoff.
- Ropkins, J.W.T. (1998) **Jacked tunnel design and construction. Proceedings of the Sessions of Geo-Congress 98, Boston, Special publication No. 87**, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 21-38.
- Ropkins, J.W.T.(2007). ***Jacked Box Tunneling Using the Ropkins System, a non-intrusive tunneling technique for constructing new underbridges beneath existing traffic arteries***, Institution of Mechanical Engineers, London.
- Wahyudi, H. (1999). **Daya Dukung Pondasi Dalam**. Surabaya: ITS.

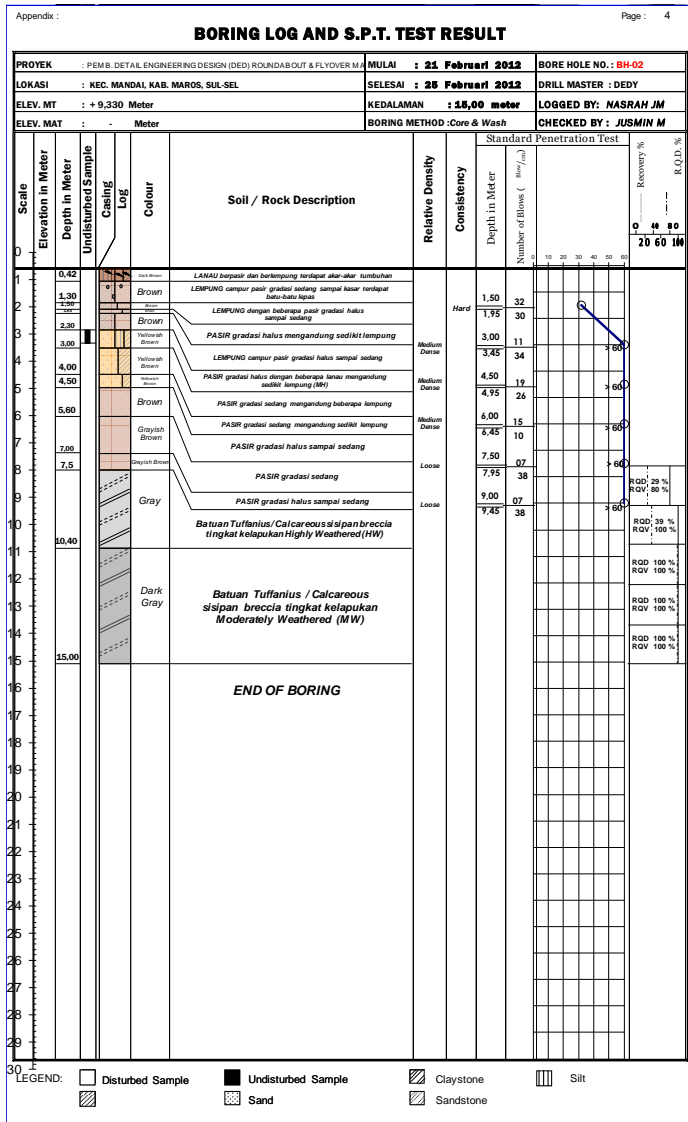
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

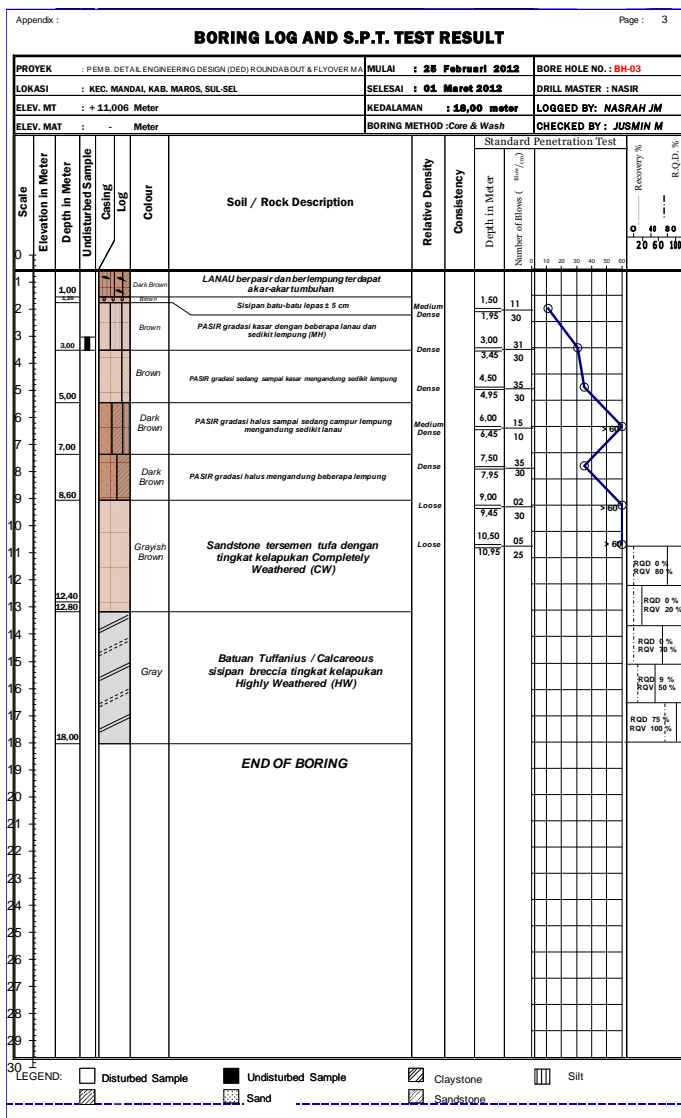
Lampiran 1. Data *borlog*



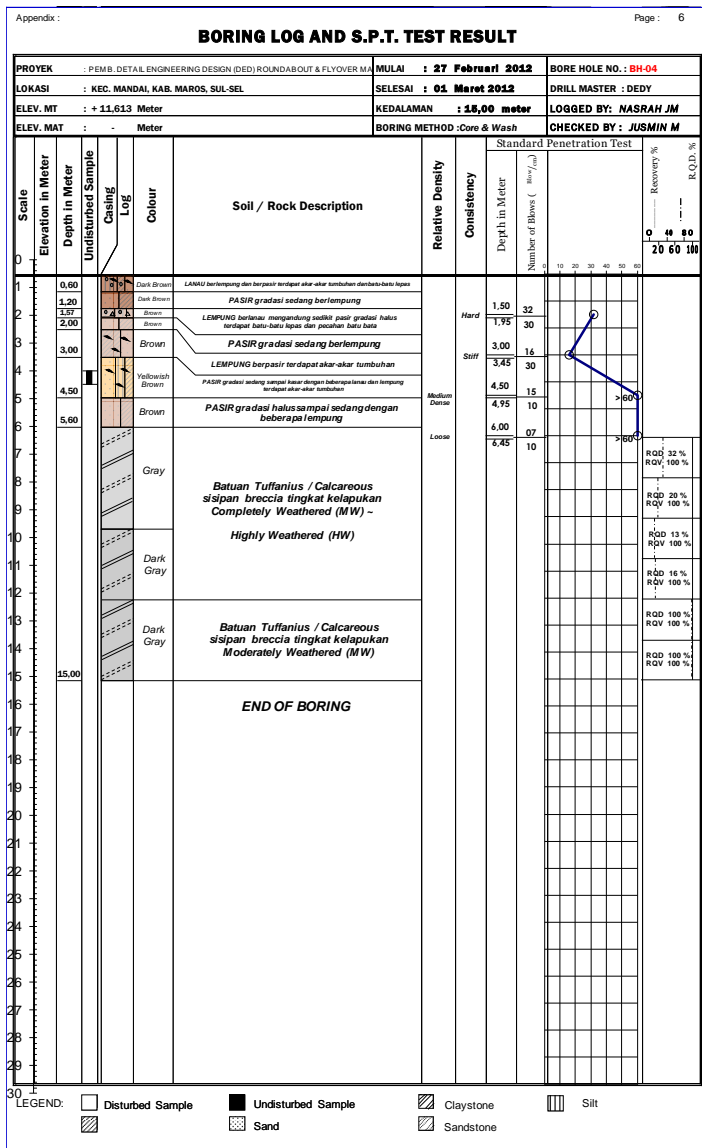
Lampiran 2. Data borlog



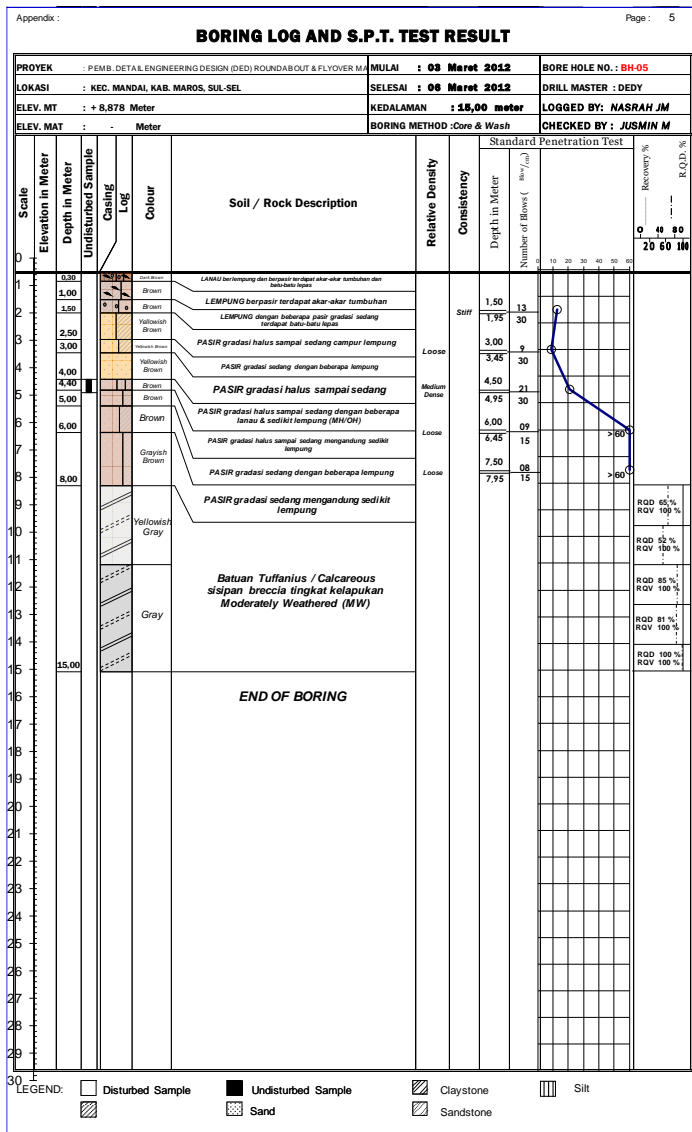
Lampiran 3. Data borlog



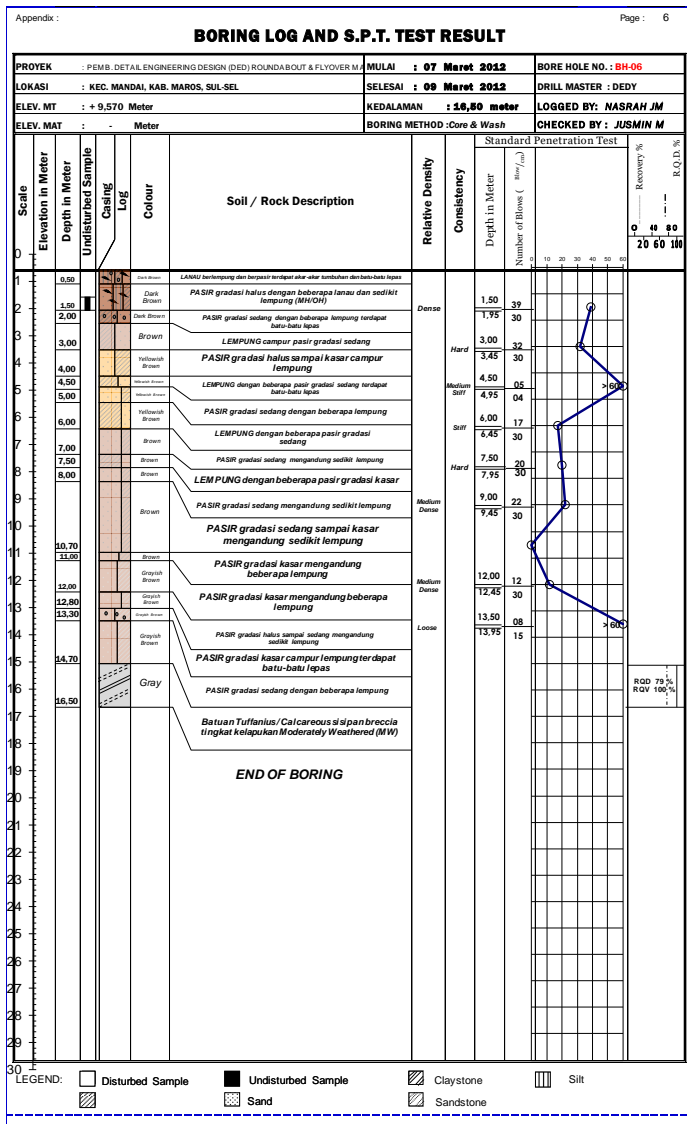
Lampiran 4. Data borlog



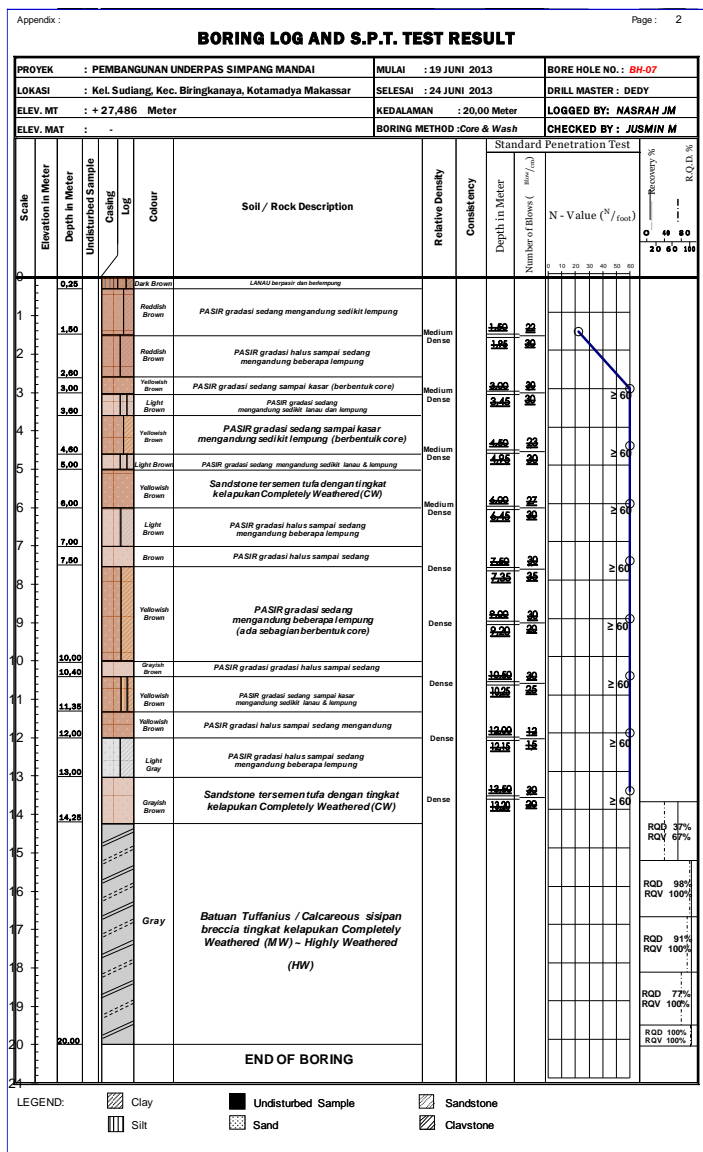
Lampiran 5. Data borlog



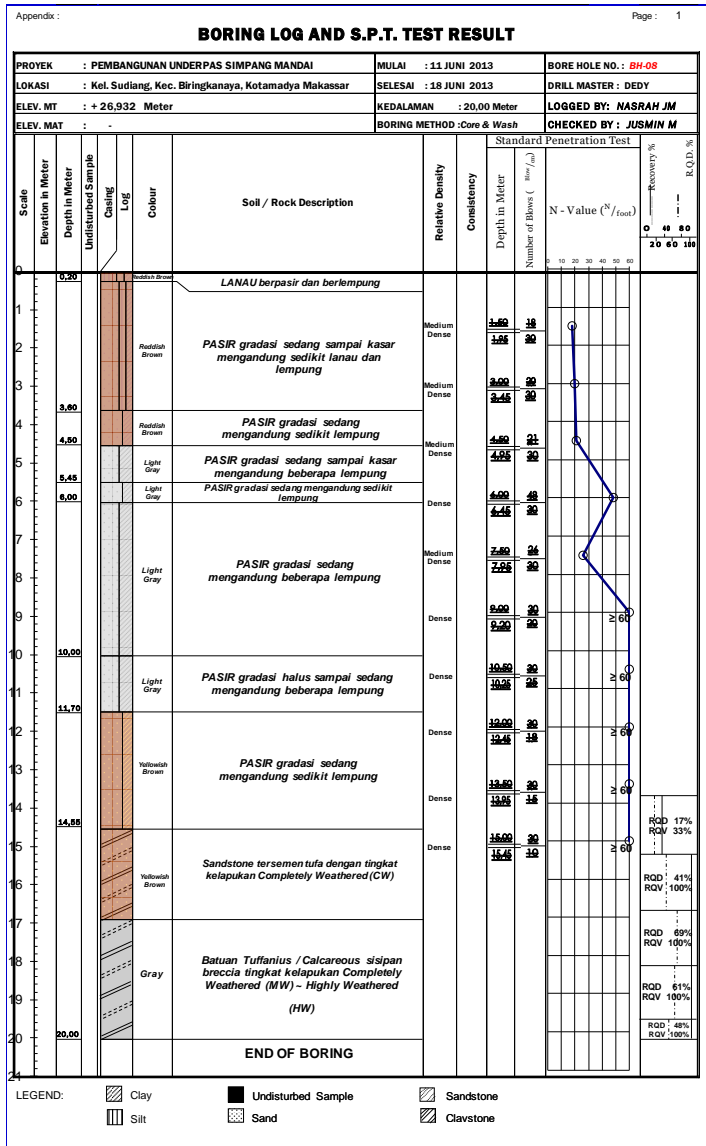
Lampiran 6. Data borlog



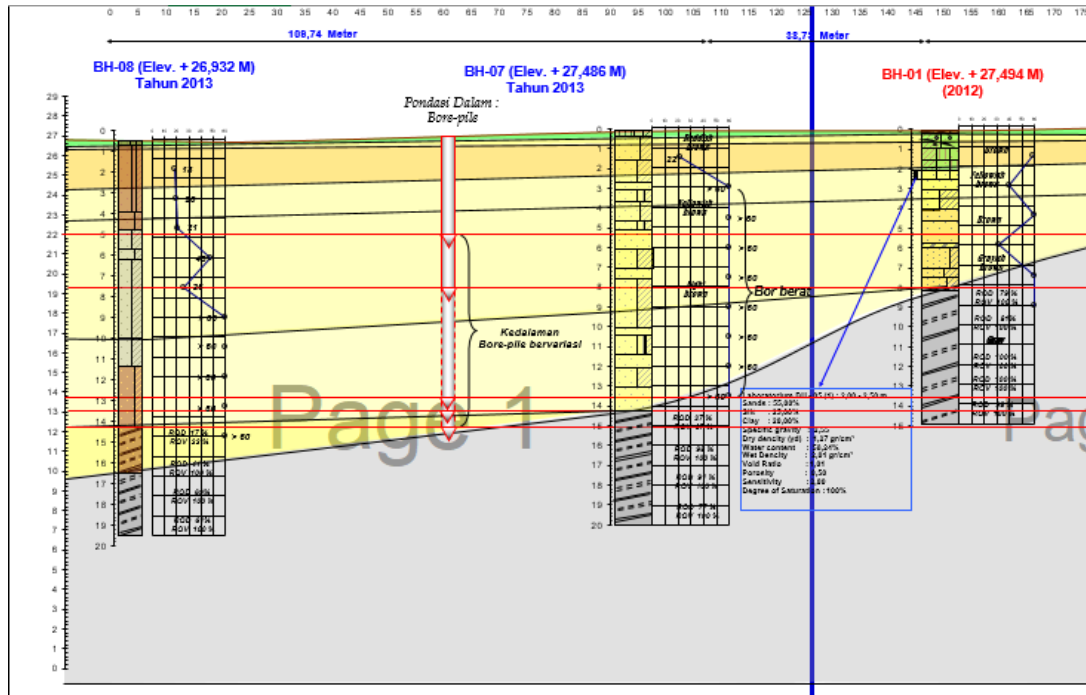
Lampiran 7. Data borlog

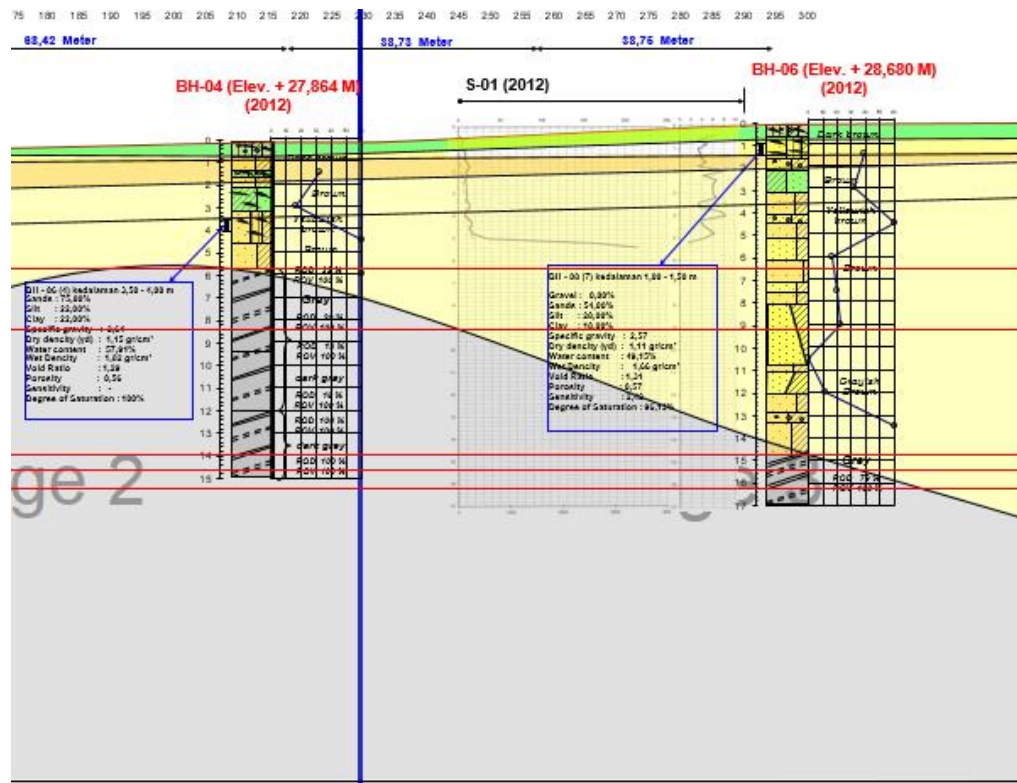


Lampiran 8. Data borlog

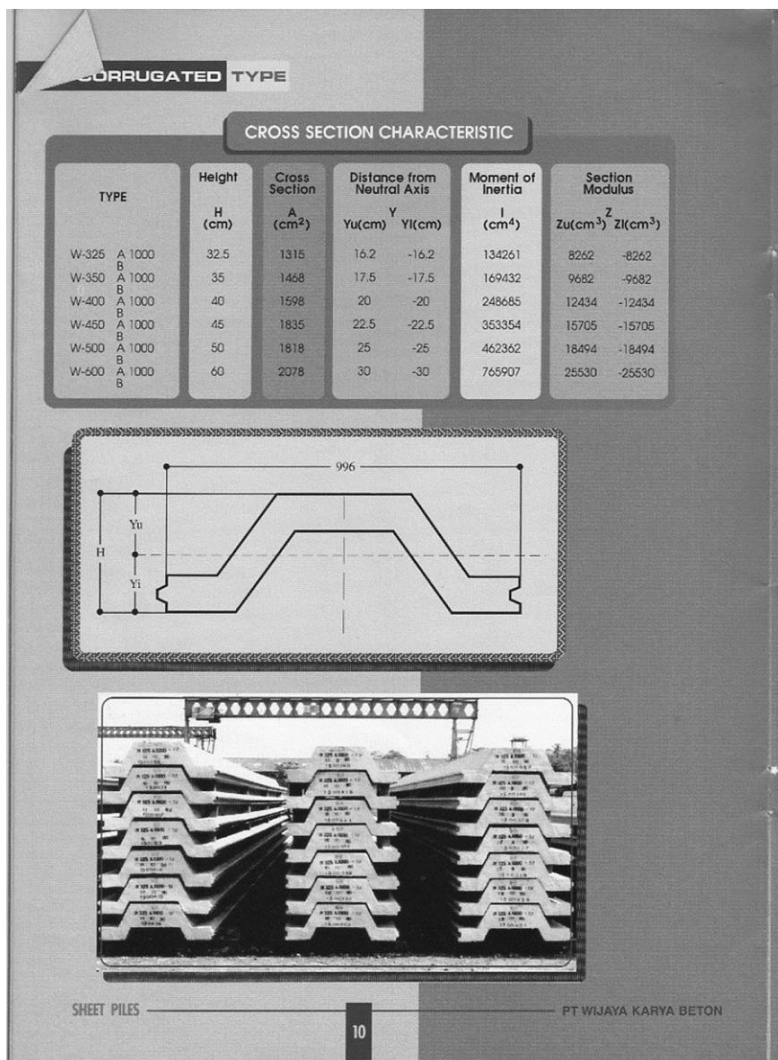


Lampiran 9. Stratigrafi





Lampiran 10. Spesifikasi *sheet pile* PT. Wijaya Karya Beton



CRACKING MOMENT CAPACITY AND RANGE OF LENGTH

TYPE	Height mm	Thickness mm	Width mm	Cracking Moment H-m	Length (m)
					8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21
W-325 A 1000 B	325	110	996	11.4 13.3	
W-350 A 1000 B	350	120	996	15.6 17	
W-400 A 1000 B	400	120	996	20.1 23.4	
W-450 A 1000 B	450	120	996	26.9 30.7	
W-500 A 1000 B	500	120	996	35.2 40.4	
W-600 A 1000 B	600	120	996	50.6 59.6	



WEIGHT

TYPE	Length (m)	Weight (t)
	8 9 10 11 12 13 14	2.63 2.96 3.29 3.62 3.94 4.28 4.60
W-325 A 1000 B		
	9 10 11 12 13 14 15	3.31 3.67 4.04 4.41 4.77 5.14 5.51
W-350 A 1000 B		
	10 11 12 13 14 15 16	4.00 4.40 4.80 5.20 5.60 6.00 6.40
W-400 A 1000 B		
	11 12 13 14 15 16 17	5.05 5.51 5.97 6.42 6.88 7.34 7.80
W-450 A 1000 B		
	12 13 14 15 16 17 18	5.46 5.91 6.36 6.82 7.27 7.73 8.18
W-500 A 1000 B		
	14 15 16 17 18 19 20 21	7.35 7.87 8.39 8.91 9.44 9.97 10.49 10.92
W-600 A 1000 B		

Lampiran 11. Rekapitulasi perhitungan tekanan tanah

[illegible]

Lapisan	Depth (m)	Tebal (m)		σv Aktif (t/m2)	σv Pasif (t/m2)	C' (t/m2)	φ	Ka	Kp	K0	σh Aktif (t/m2)	σh Pasif (t/m2)	σh at rest (t/m2)
1	0	3	bawah	1.5	0	8	0	1	1	1	-14.5	16	1.5
	3		atas	3.766666667	2.266666667	8	0	1	1	1	-12.23333333	18.26666667	3.766666667
2	3	1.5	bawah	3.766666667	2.266666667	0	30.10526	0.331921	3.01276	0.498409793	1.250236944	6.828927762	1.877343552
	4.5		atas	4.524561404	3.024561404	0	30.10526	0.331921	3.01276	0.498409793	1.50179836	9.112284414	2.255085711
3	4.5	1.5	bawah	4.524561404	3.024561404	0	30.94737	0.320785	3.11735	0.485749531	1.451413506	9.428611306	2.197803581
	6		atas	5.345614035	3.845614035	0	30.94737	0.320785	3.11735	0.485749531	1.714795251	11.98811832	2.596629512
4	6	1.5	bawah	5.345614035	3.845614035	0	30.94737	0.320785	3.11735	0.485749531	1.714795251	11.98811832	2.596629512
	7.5		atas	6.166666667	4.666666667	0	30.94737	0.320785	3.11735	0.485749531	1.978176996	14.54762533	2.995455443
5	7.5	1.5	bawah	6.166666667	4.666666667	0	30.52632	0.326318	3.0645	0.492065947	2.012294016	14.30098065	3.034406672
	9		atas	7.098245614	5.598245614	0	30.52632	0.326318	3.0645	0.492065947	2.316284947	17.15580047	3.492804948
6	9	1.5	bawah	7.098245614	5.598245614	0	32.21053	0.304604	3.28295	0.466968271	2.16215713	18.37873937	3.314655483
	10.5		atas	8.014035088	6.514035088	0	32.21053	0.304604	3.28295	0.466968271	2.44111067	21.38522698	3.742300111
7	10.5	1.5	bawah	8.014035088	6.514035088	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	2.29595726	22.73722889	3.569329913
	12		atas	9.135087719	7.635087719	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	2.617129915	26.65026128	4.068629784
8	12	1.5	bawah	9.135087719	7.635087719	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	2.617129915	26.65026128	4.068629784
	13.5		atas	10.25614035	8.756140351	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	2.938302571	30.56329367	4.567929656
9	13.5	1.5	bawah	10.25614035	8.756140351	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	2.938302571	30.56329367	4.567929656
	15		atas	11.37719298	9.877192982	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	3.259475226	34.47632606	5.067229528
10	15	1.5	bawah	11.37719298	9.877192982	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	3.259475226	34.47632606	5.067229528
	16.5		atas	12.49824561	10.99824561	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	3.580647881	38.38935845	5.5665294
11	16.5	1.5	bawah	12.49824561	10.99824561	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	3.580647881	38.38935845	5.5665294
	17.5		atas	13.61929825	12.11929825	0	33.68421	0.286492	3.4905	0.445384862	3.901820537	42.30239084	6.065829271

Lampiran. Perhitungan Iterasi pada Model 1Iterasi 1 (Galian 3 m dengan 1 buah *strut*)

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	Pa Min	Ks
0	0.844444	0	1022.727
1	2.255556	0	1022.727
2	3.011111	0	1022.727
3	2.696566	0.625313	1193.182
4	2.072044	1.3799	1193.182
5	2.280182	1.505816	1562.5
6	2.546066	1.681404	1562.5
7	2.820898	1.862901	1562.5
8	3.154114	2.091679	2225.379
9	3.367043	2.214688	1704.545
10	3.581865	2.336459	1704.545
11	3.73394	2.401842	2509.47
12	4.066807	2.615957	2509.47
13	4.316457	2.830072	2509.47
14	4.73254	3.044187	2509.47
15	5.065406	3.258302	2509.47
16	5.398273	3.472418	2509.47
17	5.731139	3.686533	2509.47
18	6.064006	3.900648	2509.47
19	6.396873	4.114763	2509.47
20	6.729739	4.328878	2509.47
21	7.062606	4.542993	2509.47
22	3.656128	2.35179	2509.47

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Pp Max	Ks
3.5	0.873529	0.761119	1193.182
4.5	1.120557	1.553951	1193.182
5.5	1.439353	3.281419	1562.5
6.5	1.705237	4.987757	1562.5
7.5	1.935536	6.75152	1562.5
8.5	2.251849	8.483815	2225.379
9.5	2.42332	10.75721	1704.545
10.5	2.67502	13.22682	1704.545
11.5	2.946572	17.61904	2509.47
12.5	3.279439	21.53207	2509.47
13.5	3.612306	21.76969	2509.47
14.5	3.945172	24.37838	2509.47
15.5	4.278039	26.98706	2509.47
16.5	4.610905	29.59575	2509.47
17.5	4.943772	32.20444	2509.47
18.5	5.276639	34.81313	2509.47
19.5	5.609505	37.42182	2509.47
20.5	5.942372	40.03051	2509.47
21.5	6.275238	42.63919	2509.47

Deformasi pada Iterasi 1

Depth (m)	defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	3.5	-0.00274
1	0.001241	4.5	-0.002675
2	0.002176	5.5	-0.002429
3	0.00266	6.5	-0.002125
4	0.00274	7.5	-0.001832
5	0.002566	8.5	-0.001584
6	0.00228	9.5	-0.001392
7	0.001977	10.5	-0.001229
8	0.001702	11.5	-0.001093
9	0.001485	12.5	-0.000996
10	0.00131	13.5	-0.000936
11	0.001159	14.5	-0.000903
12	0.001042	15.5	-0.000884
13	0.000965	16.5	-0.000866
14	0.00092	17.5	-0.000834
15	0.000896	18.5	-0.000767
16	0.000879	19.5	-0.000642
17	0.000857	20.5	-0.000437
18	0.00081	21.5	-0.000153
19	0.000718		
20	0.000555		
21	0.000309		
22	0		

Iterasi 2

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444	YES
1	2.255555556	0.001241	1022.727	0	0.986351	2.255556	YES
2	3.011111111	0.002176	1022.727	0	0.785657	3.011111	YES
3	2.696565583	0.00266	1193.182	0.625313	-0.4773	0.625313	NO
4	2.072043986	0.00274	1193.182	1.3799	-1.19727	1.3799	NO
5	2.280182157	0.002566	1562.5	1.505816	-1.72919	1.505816	NO
6	2.546066111	0.00228	1562.5	1.681404	-1.01643	1.681404	NO
7	2.820898082	0.001977	1562.5	1.862901	-0.26816	1.862901	NO
8	3.154113943	0.001702	2225.379	2.091679	-0.63348	2.091679	NO
9	3.367042866	0.001485	1704.545	2.214688	0.835793	2.214688	NO
10	3.581865105	0.00131	1704.545	2.336459	1.348911	2.336459	NO
11	3.73393999	0.001159	2509.47	2.401842	0.825465	2.401842	NO
12	4.066806571	0.001042	2509.47	2.615957	1.451939	2.615957	NO
13	4.316456507	0.000965	2509.47	2.830072	1.894818	2.830072	NO
14	4.732539734	0.00092	2509.47	3.044187	2.423828	3.044187	NO
15	5.065406315	0.000896	2509.47	3.258302	2.816921	3.258302	NO
16	5.398272896	0.000879	2509.47	3.472418	3.192449	3.472418	NO
17	5.731139477	0.000857	2509.47	3.686533	3.580524	3.686533	NO
18	6.064006058	0.00081	2509.47	3.900648	4.031336	6.064006	YES
19	6.39687264	0.000718	2509.47	4.114763	4.595073	6.396873	YES
20	6.729739221	0.000555	2509.47	4.328878	5.336984	6.729739	YES
21	7.062605802	0.000309	2509.47	4.542993	6.28718	7.062606	YES
22	3.656127869	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656128	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp Max	Pp	Pp Actual	Spring
3.5	0.873528742	-0.00274	1193.181818	0.761119	4.142847	0.761118884	NO
4.5	1.120557422	-0.002675	1193.181818	1.553951	4.312319	1.553951054	NO
5.5	1.439352559	-0.002429	1562.5	3.281419	5.234665	3.281419248	NO
6.5	1.705236513	-0.002125	1562.5	4.987757	5.025549	4.987757257	NO
7.5	1.93553572	-0.001832	1562.5	6.75152	4.798036	1.93553572	YES
8.5	2.251849162	-0.001584	2225.378788	8.483815	5.776849	2.251849162	YES
9.5	2.423319555	-0.001392	1704.545455	10.75721	4.796047	2.423319555	YES
10.5	2.675019823	-0.001229	1704.545455	13.22682	4.769906	2.675019823	YES
11.5	2.946572483	-0.001093	2509.469697	17.61904	5.689423	2.946572483	YES
12.5	3.279439064	-0.000996	2509.469697	21.53207	5.778871	3.279439064	YES
13.5	3.612305645	-0.000936	2509.469697	21.76969	5.961169	3.612305645	YES
14.5	3.945172226	-0.000903	2509.469697	24.37838	6.211223	3.945172226	YES
15.5	4.278038807	-0.000884	2509.469697	26.98706	6.49641	4.278038807	YES
16.5	4.610905388	-0.000866	2509.469697	29.59575	6.784106	4.610905388	YES
17.5	4.94377197	-0.000834	2509.469697	32.20444	7.03667	4.94377197	YES
18.5	5.276638551	-0.000767	2509.469697	34.81313	7.201402	5.276638551	YES
19.5	5.609505132	-0.000642	2509.469697	37.42182	7.220585	5.609505132	YES
20.5	5.942371713	-0.000437	2509.469697	40.03051	7.03901	5.942371713	YES
21.5	6.275238294	-0.000153	2509.469697	42.63919	6.659187	6.275238294	YES

Deformasi pada iterasi 2

Depth (m)	defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	3.5	-0.00872
1	0.003196	4.5	-0.009282
2	0.005986	5.5	-0.00886
3	0.008048	6.5	-0.007694
4	0.009133	7.5	-0.006145
5	0.009184	8.5	-0.004619
6	0.008352	9.5	-0.003359
7	0.006945	10.5	-0.002409
8	0.005365	11.5	-0.001744
9	0.003955	12.5	-0.001323
10	0.00285	13.5	-0.001083
11	0.002047	14.5	-0.000959
12	0.00151	15.5	-0.000899
13	0.001188	16.5	-0.000864
14	0.001013	17.5	-0.000826
15	0.000927	18.5	-0.00076
16	0.000884	19.5	-0.000636
17	0.000851	20.5	-0.000434
18	0.000803	21.5	-0.000152
19	0.000711		
20	0.000551		
21	0.000306		
22	0		

Iterasi 3

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444	YES
1	2.255556	0.003196	1022.727	0	-1.01308	0	NO
2	3.011111	0.005986	1022.727	0	-3.11093	0	NO
3	2.696566	0.008048	1193.182	0.625313	-6.90616	0.625313	NO
4	2.072044	0.009133	1193.182	1.3799	-8.82529	1.3799	NO
5	2.280182	0.009184	1562.5	1.505816	-12.0698	1.505816	NO
6	2.546066	0.008352	1562.5	1.681404	-10.5039	1.681404	NO
7	2.820898	0.006945	1562.5	1.862901	-8.03066	1.862901	NO
8	3.154114	0.005365	2225.379	2.091679	-8.78504	2.091679	NO
9	3.367043	0.003955	1704.545	2.214688	-3.37443	2.214688	NO
10	3.581865	0.00285	1704.545	2.336459	-1.27609	2.336459	NO
11	3.73394	0.002047	2509.47	2.401842	-1.40294	2.401842	NO
12	4.066807	0.00151	2509.47	2.615957	0.277507	2.615957	NO
13	4.316457	0.001188	2509.47	2.830072	1.335207	2.830072	NO
14	4.73254	0.001013	2509.47	3.044187	2.190447	3.044187	NO
15	5.065406	0.000927	2509.47	3.258302	2.739128	3.258302	NO
16	5.398273	0.000884	2509.47	3.472418	3.179902	3.472418	NO
17	5.731139	0.000851	2509.47	3.686533	3.595581	3.686533	NO
18	6.064006	0.000803	2509.47	3.900648	4.048902	6.064006	YES
19	6.396873	0.000711	2509.47	4.114763	4.61264	6.396873	YES
20	6.729739	0.000551	2509.47	4.328878	5.347021	6.729739	YES
21	7.062606	0.000306	2509.47	4.542993	6.294708	7.062606	YES
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656128	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp Max	Pp	Pp Actual	Spring
3.5	0.873528742	-0.00872	1193.181818	0.761118884	11.27807	0.761119	NO
4.5	1.120557422	-0.009282	1193.181818	1.553951054	12.19567	1.553951	NO
5.5	1.439352559	-0.00886	1562.5	3.281419248	15.2831	3.281419	NO
6.5	1.705236513	-0.007694	1562.5	4.987757257	13.72711	4.987757	NO
7.5	1.93553572	-0.006145	1562.5	6.751520103	11.5371	6.75152	NO
8.5	2.251849162	-0.004619	2225.378788	8.483814835	12.53087	8.483815	NO
9.5	2.423319555	-0.003359	1704.545455	10.75721138	8.148888	2.42332	YES
10.5	2.675019823	-0.002409	1704.545455	13.2268176	6.78127	2.67502	YES
11.5	2.946572483	-0.001744	2509.469697	17.61904087	7.323088	2.946572	YES
12.5	3.279439064	-0.001323	2509.469697	21.53207326	6.599467	3.279439	YES
13.5	3.612305645	-0.001083	2509.469697	21.76968724	6.330061	3.612306	YES
14.5	3.945172226	-0.000959	2509.469697	24.3783755	6.351754	3.945172	YES
15.5	4.278038807	-0.000899	2509.469697	26.98706376	6.534052	4.278039	YES
16.5	4.610905388	-0.000864	2509.469697	29.59575202	6.779087	4.610905	YES
17.5	4.94377197	-0.000826	2509.469697	32.20444028	7.016594	4.943772	YES
18.5	5.276638551	-0.00076	2509.469697	34.81312854	7.183836	5.276639	YES
19.5	5.609505132	-0.000636	2509.469697	37.4218168	7.205528	5.609505	YES
20.5	5.942371713	-0.000434	2509.469697	40.03050506	7.031482	5.942372	YES
21.5	6.275238294	-0.000152	2509.469697	42.63919332	6.656678	6.275238	YES

Deformasi pada iterasi 3

Depth (m)	defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	3.5	-0.01314
1	0.00474	4.5	-0.014292
2	0.008905	5.5	-0.014114
3	0.012048	6.5	-0.012826
4	0.01389	7.5	-0.010776
5	0.01436	8.5	-0.008372
6	0.013591	9.5	-0.006019
7	0.011875	10.5	-0.004044
8	0.009596	11.5	-0.002576
9	0.00717	12.5	-0.001618
10	0.004977	13.5	-0.001074
11	0.003248	14.5	-0.000816
12	0.002042	15.5	-0.000729
13	0.001306	16.5	-0.000722
14	0.000921	17.5	-0.000732
15	0.000761	18.5	-0.000708
16	0.000724	19.5	-0.000614
17	0.000732	20.5	-0.000427
18	0.000731	21.5	-0.000151
19	0.000676		
20	0.000537		
21	0.000303		
22	0		

Iterasi 4

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444	YES
1	2.255556	0.00474	1022.727	0	-2.59217	0	NO
2	3.011111	0.008905	1022.727	0	-6.09628	0	NO
3	2.696566	0.012048	1193.182	0.625313	-11.6789	0.625313	NO
4	2.072044	0.01389	1193.182	1.3799	-14.5013	1.3799	NO
5	2.280182	0.01436	1562.5	1.505816	-20.1573	1.505816	NO
6	2.546066	0.013591	1562.5	1.681404	-18.6899	1.681404	NO
7	2.820898	0.011875	1562.5	1.862901	-15.7338	1.862901	NO
8	3.154114	0.009596	2225.379	2.091679	-18.2006	2.091679	NO
9	3.367043	0.00717	1704.545	2.214688	-8.85455	2.214688	NO
10	3.581865	0.004977	1704.545	2.336459	-4.90166	2.336459	NO
11	3.73394	0.003248	2509.47	2.401842	-4.41682	2.401842	NO
12	4.066807	0.002042	2509.47	2.615957	-1.05753	2.615957	NO
13	4.316457	0.001306	2509.47	2.830072	1.039089	2.830072	NO
14	4.73254	0.000921	2509.47	3.044187	2.421318	3.044187	NO
15	5.065406	0.000761	2509.47	3.258302	3.1557	3.258302	NO
16	5.398273	0.000724	2509.47	3.472418	3.581417	5.398273	YES
17	5.731139	0.000732	2509.47	3.686533	3.894208	5.731139	YES
18	6.064006	0.000731	2509.47	3.900648	4.229584	6.064006	YES
19	6.396873	0.000676	2509.47	4.114763	4.700471	6.396873	YES
20	6.729739	0.000537	2509.47	4.328878	5.382154	6.729739	YES
21	7.062606	0.000303	2509.47	4.542993	6.302236	7.062606	YES
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656128	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp Max	Pp	Pp Actual	Spring
3.5	0.873528742	-0.01314	1193.181818	0.761118884	16.55194	0.761119	NO
4.5	1.120557422	-0.014292	1193.181818	1.553951054	18.17351	1.553951	NO
5.5	1.439352559	-0.014114	1562.5	3.281419248	23.49248	3.281419	NO
6.5	1.705236513	-0.012826	1562.5	4.987757257	21.74586	4.987757	NO
7.5	1.93553572	-0.010776	1562.5	6.751520103	18.77304	6.75152	NO
8.5	2.251849162	-0.008372	2225.378788	8.483814835	20.88272	8.483815	NO
9.5	2.423319555	-0.006019	1704.545455	10.75721138	12.68298	10.75721	NO
10.5	2.675019823	-0.004044	1704.545455	13.2268176	9.568202	2.67502	YES
11.5	2.946572483	-0.002576	2509.469697	17.61904087	9.410966	2.946572	YES
12.5	3.279439064	-0.001618	2509.469697	21.53207326	7.339761	3.279439	YES
13.5	3.612305645	-0.001074	2509.469697	21.76968724	6.307476	3.612306	YES
14.5	3.945172226	-0.000816	2509.469697	24.3783755	5.992899	3.945172	YES
15.5	4.278038807	-0.000729	2509.469697	26.98706376	6.107442	4.278039	YES
16.5	4.610905388	-0.000722	2509.469697	29.59575202	6.422743	4.610905	YES
17.5	4.94377197	-0.000732	2509.469697	32.20444028	6.780704	4.943772	YES
18.5	5.276638551	-0.000708	2509.469697	34.81312854	7.053343	5.276639	YES
19.5	5.609505132	-0.000614	2509.469697	37.4218168	7.15032	5.609505	YES
20.5	5.942371713	-0.000427	2509.469697	40.03050506	7.013915	5.942372	YES
21.5	6.275238294	-0.000151	2509.469697	42.63919332	6.654168	6.275238	YES

Deformasi pada iterasi 4

Depth (m)	defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	3.5	-0.013682
1	0.004907	4.5	-0.014947
2	0.009233	5.5	-0.014851
3	0.012523	6.5	-0.013609
4	0.014492	7.5	-0.01156
5	0.015061	8.5	-0.009104
6	0.014357	9.5	-0.006642
7	0.012664	10.5	-0.004501
8	0.010361	11.5	-0.002864
9	0.007856	12.5	-0.001773
10	0.005521	13.5	-0.00114
11	0.003618	14.5	-0.000835
12	0.002258	15.5	-0.000729
13	0.001411	16.5	-0.000719
14	0.000958	17.5	-0.000729
15	0.000767	18.5	-0.000707
16	0.000721	19.5	-0.000613
17	0.000729	20.5	-0.000427
18	0.000729	21.5	-0.000151
19	0.000675		
20	0.000537		
21	0.000303		
22	0		

Iterasi 5

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444	YES
1	2.255556	0.004907	1022.727	0	-2.76297	0	NO
2	3.011111	0.009233	1022.727	0	-6.43173	0	NO
3	2.696566	0.012523	1193.182	0.625313	-12.2457	0.625313	NO
4	2.072044	0.014492	1193.182	1.3799	-15.2195	1.3799	NO
5	2.280182	0.015061	1562.5	1.505816	-21.2526	1.505816	NO
6	2.546066	0.014357	1562.5	1.681404	-19.8867	1.681404	NO
7	2.820898	0.012664	1562.5	1.862901	-16.9666	1.862901	NO
8	3.154114	0.010361	2225.379	2.091679	-19.903	2.091679	NO
9	3.367043	0.007856	1704.545	2.214688	-10.0239	2.214688	NO
10	3.581865	0.005521	1704.545	2.336459	-5.82893	2.336459	NO
11	3.73394	0.003618	2509.47	2.401842	-5.34532	2.401842	NO
12	4.066807	0.002258	2509.47	2.615957	-1.59958	2.615957	NO
13	4.316457	0.001411	2509.47	2.830072	0.775595	2.830072	NO
14	4.73254	0.000958	2509.47	3.044187	2.328468	3.044187	NO
15	5.065406	0.000767	2509.47	3.258302	3.140643	3.258302	NO
16	5.398273	0.000721	2509.47	3.472418	3.588945	5.398273	YES
17	5.731139	0.000729	2509.47	3.686533	3.901736	5.731139	YES
18	6.064006	0.000729	2509.47	3.900648	4.234603	6.064006	YES
19	6.396873	0.000675	2509.47	4.114763	4.702981	6.396873	YES
20	6.729739	0.000537	2509.47	4.328878	5.382154	6.729739	YES
21	7.062606	0.000303	2509.47	4.542993	6.302236	7.062606	YES
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656128	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp Max	Pp	Pp Actual	Spring
3.5	0.873528742	-0.013682	1193.181818	0.761119	17.19864	0.761119	NO
4.5	1.120557422	-0.014947	1193.181818	1.553951	18.95505	1.553951	NO
5.5	1.439352559	-0.014851	1562.5	3.281419	24.64404	3.281419	NO
6.5	1.705236513	-0.013609	1562.5	4.987757	22.9693	4.987757	NO
7.5	1.93553572	-0.01156	1562.5	6.75152	19.99804	6.75152	NO
8.5	2.251849162	-0.009104	2225.378788	8.483815	22.5117	8.483815	NO
9.5	2.423319555	-0.006642	1704.545455	10.75721	13.74491	10.75721	NO
10.5	2.675019823	-0.004501	1704.545455	13.22682	10.34718	2.67502	YES
11.5	2.946572483	-0.002864	2509.469697	17.61904	10.13369	2.946572	YES
12.5	3.279439064	-0.001773	2509.469697	21.53207	7.728729	3.279439	YES
13.5	3.612305645	-0.00114	2509.469697	21.76969	6.473101	3.612306	YES
14.5	3.945172226	-0.000835	2509.469697	24.37838	6.040579	3.945172	YES
15.5	4.278038807	-0.000729	2509.469697	26.98706	6.107442	4.278039	YES
16.5	4.610905388	-0.000719	2509.469697	29.59575	6.415214	4.610905	YES
17.5	4.94377197	-0.000729	2509.469697	32.20444	6.773175	4.943772	YES
18.5	5.276638551	-0.000707	2509.469697	34.81313	7.050834	5.276639	YES
19.5	5.609505132	-0.000613	2509.469697	37.42182	7.14781	5.609505	YES
20.5	5.942371713	-0.000427	2509.469697	40.03051	7.013915	5.942372	YES
21.5	6.275238294	-0.000151	2509.469697	42.63919	6.654168	6.275238	YES

Deformasi pada iterasi 5

Depth (m)	defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	3.5	-0.013682
1	0.004907	4.5	-0.014947
2	0.009233	5.5	-0.014851
3	0.012523	6.5	-0.013609
4	0.014492	7.5	-0.01156
5	0.015061	8.5	-0.009104
6	0.014357	9.5	-0.006642
7	0.012664	10.5	-0.004501
8	0.010361	11.5	-0.002864
9	0.007856	12.5	-0.001773
10	0.005521	13.5	-0.00114
11	0.003618	14.5	-0.000835
12	0.002258	15.5	-0.000729
13	0.001411	16.5	-0.000719
14	0.000958	17.5	-0.000729
15	0.000767	18.5	-0.000707
16	0.000721	19.5	-0.000613
17	0.000729	20.5	-0.000427
18	0.000729	21.5	-0.000151
19	0.000675		
20	0.000537		
21	0.000303		
22	0		

Iterasi 6

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444	YES
1	2.255556	0.004907	1022.727	0	-2.76297	0	NO
2	3.011111	0.009233	1022.727	0	-6.43173	0	NO
3	2.696566	0.012523	1193.182	0.625313	-12.2457	0.625313	NO
4	2.072044	0.014492	1193.182	1.3799	-15.2195	1.3799	NO
5	2.280182	0.015061	1562.5	1.505816	-21.2526	1.505816	NO
6	2.546066	0.014357	1562.5	1.681404	-19.8867	1.681404	NO
7	2.820898	0.012664	1562.5	1.862901	-16.9666	1.862901	NO
8	3.154114	0.010361	2225.379	2.091679	-19.903	2.091679	NO
9	3.367043	0.007856	1704.545	2.214688	-10.0239	2.214688	NO
10	3.581865	0.005521	1704.545	2.336459	-5.82893	2.336459	NO
11	3.73394	0.003618	2509.47	2.401842	-5.34532	2.401842	NO
12	4.066807	0.002258	2509.47	2.615957	-1.59958	2.615957	NO
13	4.316457	0.001411	2509.47	2.830072	0.775595	2.830072	NO
14	4.73254	0.000958	2509.47	3.044187	2.328468	3.044187	NO
15	5.065406	0.000767	2509.47	3.258302	3.140643	3.258302	NO
16	5.398273	0.000721	2509.47	3.472418	3.588945	5.398273	YES
17	5.731139	0.000729	2509.47	3.686533	3.901736	5.731139	YES
18	6.064006	0.000729	2509.47	3.900648	4.234603	6.064006	YES
19	6.396873	0.000675	2509.47	4.114763	4.702981	6.396873	YES
20	6.729739	0.000537	2509.47	4.328878	5.382154	6.729739	YES
21	7.062606	0.000303	2509.47	4.542993	6.302236	7.062606	YES
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656128	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp Max	Pp	Pp Actual	Spring
3.5	0.873528742	-0.013682	1193.181818	0.761118884	17.19864	0.761119	NO
4.5	1.120557422	-0.014947	1193.181818	1.553951054	18.95505	1.553951	NO
5.5	1.439352559	-0.014851	1562.5	3.281419248	24.64404	3.281419	NO
6.5	1.705236513	-0.013609	1562.5	4.987757257	22.9693	4.987757	NO
7.5	1.93553572	-0.01156	1562.5	6.751520103	19.99804	6.75152	NO
8.5	2.251849162	-0.009104	2225.378788	8.483814835	22.5117	8.483815	NO
9.5	2.423319555	-0.006642	1704.545455	10.75721138	13.74491	10.75721	NO
10.5	2.675019823	-0.004501	1704.545455	13.2268176	10.34718	2.67502	YES
11.5	2.946572483	-0.002864	2509.469697	17.61904087	10.13369	2.946572	YES
12.5	3.279439064	-0.001773	2509.469697	21.53207326	7.728729	3.279439	YES
13.5	3.612305645	-0.00114	2509.469697	21.76968724	6.473101	3.612306	YES
14.5	3.945172226	-0.000835	2509.469697	24.3783755	6.040579	3.945172	YES
15.5	4.278038807	-0.000729	2509.469697	26.98706376	6.107442	4.278039	YES
16.5	4.610905388	-0.000719	2509.469697	29.59575202	6.415214	4.610905	YES
17.5	4.94377197	-0.000729	2509.469697	32.20444028	6.773175	4.943772	YES
18.5	5.276638551	-0.000707	2509.469697	34.81312854	7.050834	5.276639	YES
19.5	5.609505132	-0.000613	2509.469697	37.4218168	7.14781	5.609505	YES
20.5	5.942371713	-0.000427	2509.469697	40.03050506	7.013915	5.942372	YES
21.5	6.275238294	-0.000151	2509.469697	42.63919332	6.654168	6.275238	YES

Iterasi 1 (Galian 10.5 m dengan 2 buah *strut*)

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES
1	2.255556	0.004907	1022.727	0	-2.76297	0	NO
2	3.011111	0.009233	1022.727	0	-6.43173	0	NO
3	2.696566	0.012523	1193.182	0.625313	-12.2457	0.625312578	NO
4	2.072044	0.014492	1193.182	1.3799	-15.2195	1.379899773	NO
5	2.280182	0.015061	1562.5	1.505816	-21.2526	1.505815718	NO
6	2.546066	0.014357	1562.5	1.681404	-19.8867	1.681403548	NO
7	2.820898	0.012664	1562.5	1.862901	-16.9666	1.862900584	NO
8	3.154114	0.010361	2225.379	2.091679	-19.903	2.091678967	NO
9	3.367043	0.007856	1704.545	2.214688	-10.0239	2.214688406	NO
10	3.581865	0.005521	1704.545	2.336459	-5.82893	2.33645856	NO
11	3.73394	0.003618	2509.47	2.401842	-5.34532	2.401842037	NO
12	4.066807	0.002258	2509.47	2.615957	-1.59958	2.615957141	NO
13	4.316457	0.001411	2509.47	2.830072	0.775595	2.830072245	NO
14	4.73254	0.000958	2509.47	3.044187	2.328468	3.044187348	NO
15	5.065406	0.000767	2509.47	3.258302	3.140643	3.258302452	NO
16	5.398273	0.000721	2509.47	3.472418	3.588945	5.398272896	YES
17	5.731139	0.000729	2509.47	3.686533	3.901736	5.731139477	YES
18	6.064006	0.000729	2509.47	3.900648	4.234603	6.064006058	YES
19	6.396873	0.000675	2509.47	4.114763	4.702981	6.39687264	YES
20	6.729739	0.000537	2509.47	4.328878	5.382154	6.729739221	YES
21	7.062606	0.000303	2509.47	4.542993	6.302236	7.062605802	YES
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656127869	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

depth (m)	P0	defleksi	ks	Pp Max	Pp	Pp actual	
10.5	0.375647	-0.004501	1704.545455	0.326086032	8.04780606	0.326086	NO
11.5	1.000944	-0.002864	2509.469697	2.60868826	8.188065086	2.608688	NO
12.5	1.33381	-0.001773	2509.469697	5.21737652	5.783100228	5.217377	NO
13.5	1.666677	-0.00114	2509.469697	7.82606478	4.527472491	1.666677	YES
14.5	1.999544	-0.000835	2509.469697	10.43475304	4.094950815	1.999544	YES
15.5	2.33241	-0.000729	2509.469697	13.0434413	4.161813608	2.33241	YES
16.5	2.665277	-0.000719	2509.469697	15.65212956	4.469585492	2.665277	YES
17.5	2.998143	-0.000729	2509.469697	18.26081782	4.82754677	2.998143	YES
18.5	3.33101	-0.000707	2509.469697	20.86950608	5.105205018	3.33101	YES
19.5	3.663877	-0.000613	2509.469697	23.47819434	5.202181448	3.663877	YES
20.5	3.996743	-0.000427	2509.469697	26.0868826	5.068286665	3.996743	YES
21.5	4.32961	-0.000151	2509.469697	28.69557086	4.70853961	4.32961	YES

Deformasi pada iterasi 1

Depth (m)	defleksi (m)	depth (m)	defleksi (m)
0	0	10.5	-0.047308
1	0.002875	11.5	-0.039603
2	0.006692	12.5	-0.030124
3	0.012523	13.5	-0.020516
4	0.02123	14.5	-0.012579
5	0.031143	15.5	-0.006961
6	0.040504	16.5	-0.003571
7	0.047898	17.5	-0.00189
8	0.052289	18.5	-0.001203
9	0.053069	19.5	-0.000914
10	0.050101	20.5	-0.000642
11	0.043766	21.5	-0.000237
12	0.034994		
13	0.025223		
14	0.01629		
15	0.009485		
16	0.005013		
17	0.002565		
18	0.001468		
19	0.001042		
20	0.000794		
21	0.000461		
22	0		

Iterasi 2

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES
1	2.255556	0.002875	1022.727	0	-0.68479	0	NO
2	3.011111	0.006692	1022.727	0	-3.83298	0	NO
3	2.696566	0.012523	1193.182	0.625313	-12.2457	0.625312578	NO
4	2.072044	0.02123	1193.182	1.3799	-23.2592	1.379899773	NO
5	2.280182	0.031143	1562.5	1.505816	-46.3808	1.505815718	NO
6	2.546066	0.040504	1562.5	1.681404	-60.7414	1.681403548	NO
7	2.820898	0.047898	1562.5	1.862901	-72.0197	1.862900584	NO
8	3.154114	0.052289	2225.379	2.091679	-113.209	2.091678967	NO
9	3.367043	0.053069	1704.545	2.214688	-87.0915	2.214688406	NO
10	3.581865	0.050101	1704.545	2.336459	-81.8176	2.33645856	NO
11	3.73394	0.043766	2509.47	2.401842	-106.096	2.401842037	NO
12	4.066807	0.034994	2509.47	2.615957	-83.7496	2.615957141	NO
13	4.316457	0.025223	2509.47	2.830072	-58.9799	2.830072245	NO
14	4.73254	0.01629	2509.47	3.044187	-36.1467	3.044187348	NO
15	5.065406	0.009485	2509.47	3.258302	-18.7369	3.258302452	NO
16	5.398273	0.005013	2509.47	3.472418	-7.1817	3.472417555	NO
17	5.731139	0.002565	2509.47	3.686533	-0.70565	3.686532659	NO
18	6.064006	0.001468	2509.47	3.900648	2.380105	3.900647762	NO
19	6.396873	0.001042	2509.47	4.114763	3.782005	4.114762866	NO
20	6.729739	0.000794	2509.47	4.328878	4.73722	6.729739221	YES
21	7.062606	0.000461	2509.47	4.542993	5.90574	7.062605802	YES
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656127869	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

depth (m)	P0	defleksi	ks	Pp Max	Pp	Pp actual	0
10.5	0.375646969	-0.047308	1704.545455	0.326086032	81.01428	0.326086032	NO
11.5	1.000943874	-0.039603	2509.469697	2.60868826	100.3835	2.60868826	NO
12.5	1.333810456	-0.030124	2509.469697	5.21737652	76.92908	5.21737652	NO
13.5	1.666677037	-0.020516	2509.469697	7.82606478	53.15096	7.82606478	NO
14.5	1.999543618	-0.012579	2509.469697	10.43475304	33.56616	10.43475304	NO
15.5	2.332410199	-0.006961	2509.469697	13.0434413	19.80083	13.0434413	NO
16.5	2.66527678	-0.003571	2509.469697	15.65212956	11.62659	2.66527678	YES
17.5	2.998143361	-0.00189	2509.469697	18.26081782	7.741041	2.998143361	YES
18.5	3.331009943	-0.001203	2509.469697	20.86950608	6.349902	3.331009943	YES
19.5	3.663876524	-0.000914	2509.469697	23.47819434	5.957532	3.663876524	YES
20.5	3.996743105	-0.000642	2509.469697	26.0868826	5.607823	3.996743105	YES
21.5	4.329609686	-0.000237	2509.469697	28.69557086	4.924354	4.329609686	YES

Deleksi pada iterasi 2

Depth (m)	defleksi (m)	depth (m)	defleksi (m)
0	0	10.5	-0.088499
1	0.00189	11.5	-0.083349
2	0.005461	12.5	-0.074007
3	0.012523	13.5	-0.061574
4	0.02454	14.5	-0.047476
5	0.039433	15.5	-0.033339
6	0.054901	16.5	-0.020864
7	0.068982	17.5	-0.011547
8	0.080095	18.5	-0.005543
9	0.087087	19.5	-0.002222
10	0.089278	20.5	-0.000702
11	0.086502	21.5	-0.000137
12	0.079144		
13	0.068097		
14	0.054639		
15	0.040312		
16	0.026795		
17	0.01579		
18	0.008169		
19	0.003606		
20	0.001296		
21	0.000351		
22	0		

Iterasi 3

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444444	0	1022.727273	0	0.844444	0.844444444	YES
1	2.255555556	0.00189	1022.727273	0	0.322601	2.255555556	YES
2	3.011111111	0.005461	1022.727273	0	-2.574	0	NO
3	2.696565583	0.012523	1193.181818	0.625313	-12.2457	0.625312578	NO
4	2.072043986	0.02454	1193.181818	1.3799	-27.2086	1.379899773	NO
5	2.280182157	0.039433	1562.5	1.505816	-59.3339	1.505815718	NO
6	2.546066111	0.054901	1562.5	1.681404	-83.2367	1.681403548	NO
7	2.820898082	0.068982	1562.5	1.862901	-104.963	1.862900584	NO
8	3.154113943	0.080095	2225.378788	2.091679	-175.088	2.091678967	NO
9	3.367042866	0.087087	1704.545455	2.214688	-145.077	2.214688406	NO
10	3.581865105	0.089278	1704.545455	2.336459	-148.597	2.33645856	NO
11	3.73393999	0.086502	2509.469697	2.401842	-213.34	2.401842037	NO
12	4.066806571	0.079144	2509.469697	2.615957	-194.543	2.615957141	NO
13	4.316456507	0.068097	2509.469697	2.830072	-166.571	2.830072245	NO
14	4.732539734	0.054639	2509.469697	3.044187	-132.382	3.044187348	NO
15	5.065406315	0.040312	2509.469697	3.258302	-96.0963	3.258302452	NO
16	5.398272896	0.026795	2509.469697	3.472418	-61.843	3.472417555	NO
17	5.731139477	0.01579	2509.469697	3.686533	-33.8934	3.686532659	NO
18	6.064006058	0.008169	2509.469697	3.900648	-14.4359	3.900647762	NO
19	6.39687264	0.003606	2509.469697	4.114763	-2.65228	4.114762866	NO
20	6.729739221	0.001296	2509.469697	4.328878	3.477466	4.328877969	NO
21	7.062605802	0.000351	2509.469697	4.542993	6.181782	7.062605802	YES
22	3.656127869	0	2509.469697	2.35179	3.656128	3.656127869	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

depth (m)	P0	defleksi	ks	Pp Max	Pp	Pp actual	Spring
10.5	0.375647	-0.0885	1704.545	0.326086	151.2262	0.326086032	NO
11.5	1.000944	-0.08335	2509.47	2.608688	210.1627	2.60868826	NO
12.5	1.33381	-0.07401	2509.47	5.217377	187.0521	5.21737652	NO
13.5	1.666677	-0.06157	2509.47	7.826065	156.1848	7.82606478	NO
14.5	1.999544	-0.04748	2509.47	10.43475	121.1391	10.43475304	NO
15.5	2.33241	-0.03334	2509.47	13.04344	85.99562	13.0434413	NO
16.5	2.665277	-0.02086	2509.47	15.65213	55.02285	15.65212956	NO
17.5	2.998143	-0.01155	2509.47	18.26082	31.97499	18.26081782	NO
18.5	3.33101	-0.00554	2509.47	20.86951	17.241	3.331009943	YES
19.5	3.663877	-0.00222	2509.47	23.47819	9.239918	3.663876524	YES
20.5	3.996743	-0.0007	2509.47	26.08688	5.758391	3.996743105	YES
21.5	4.32961	-0.00014	2509.47	28.69557	4.673407	4.329609686	YES

Defleksi pada iterasi 3

Depth (m)	defleksi (m)	depth (m)	defleksi (m)
0	0	10.5	-0.11182
1	0.001502	11.5	-0.109423
2	0.004934	12.5	-0.102043
3	0.012523	13.5	-0.090556
4	0.026105	14.5	-0.076165
5	0.043448	15.5	-0.060272
6	0.062028	16.5	-0.044354
7	0.079658	17.5	-0.029837
8	0.094536	18.5	-0.01797
9	0.105283	19.5	-0.009599
10	0.110995	20.5	-0.00436
11	0.111284	21.5	-0.001207
12	0.106312		
13	0.096747		
14	0.083643		
15	0.06832		
16	0.052231		
17	0.036845		
18	0.023513		
19	0.013362		
20	0.006653		
21	0.002607		
22	0		

Iterasi 4

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES
1	2.255556	0.001502	1022.727	0	0.719419	2.255555556	YES
2	3.011111	0.004934	1022.727	0	-2.03503	0	NO
3	2.696566	0.012523	1193.182	0.625313	-12.2457	0.625312578	NO
4	2.072044	0.026105	1193.182	1.3799	-29.076	1.379899773	NO
5	2.280182	0.043448	1562.5	1.505816	-65.6073	1.505815718	NO
6	2.546066	0.062028	1562.5	1.681404	-94.3727	1.681403548	NO
7	2.820898	0.079658	1562.5	1.862901	-121.645	1.862900584	NO
8	3.154114	0.094536	2225.379	2.091679	-207.224	2.091678967	NO
9	3.367043	0.105283	1704.545	2.214688	-176.093	2.214688406	NO
10	3.581865	0.110995	1704.545	2.336459	-185.614	2.33645856	NO
11	3.73394	0.111284	2509.47	2.401842	-275.53	2.401842037	NO
12	4.066807	0.106312	2509.47	2.615957	-262.72	2.615957141	NO
13	4.316457	0.096747	2509.47	2.830072	-238.467	2.830072245	NO
14	4.73254	0.083643	2509.47	3.044187	-205.167	3.044187348	NO
15	5.065406	0.06832	2509.47	3.258302	-166.382	3.258302452	NO
16	5.398273	0.052231	2509.47	3.472418	-125.674	3.472417555	NO
17	5.731139	0.036845	2509.47	3.686533	-86.7303	3.686532659	NO
18	6.064006	0.023513	2509.47	3.900648	-52.9412	3.900647762	NO
19	6.396873	0.013362	2509.47	4.114763	-27.1347	4.114762866	NO
20	6.729739	0.006653	2509.47	4.328878	-9.96576	4.328877969	NO
21	7.062606	0.002607	2509.47	4.542993	0.520418	4.542993073	NO
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656127869	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

depth (m)	P0	defleksi	ks	Pp Max	Pp	Pp actual	Spring
10.5	0.375647	-0.11182	1704.545455	0.326086032	190.9779197	0.326086032	NO
11.5	1.000944	-0.109423	2509.469697	2.60868826	275.5946465	2.60868826	NO
12.5	1.33381	-0.102043	2509.469697	5.21737652	257.4076267	5.21737652	NO
13.5	1.666677	-0.090556	2509.469697	7.82606478	228.9142149	7.82606478	NO
14.5	1.999544	-0.076165	2509.469697	10.43475304	193.1333031	10.43475304	NO
15.5	2.33241	-0.060272	2509.469697	13.0434413	153.5831678	13.0434413	NO
16.5	2.665277	-0.044354	2509.469697	15.65212956	113.9702957	15.65212956	NO
17.5	2.998143	-0.029837	2509.469697	18.26081782	77.87319071	18.26081782	NO
18.5	3.33101	-0.01797	2509.469697	20.86950608	48.4261804	20.86950608	NO
19.5	3.663877	-0.009599	2509.469697	23.47819434	27.75227614	23.47819434	NO
20.5	3.996743	-0.00436	2509.469697	26.0868826	14.93803098	3.996743105	YES
21.5	4.32961	-0.001207	2509.469697	28.69557086	7.35853961	4.329609686	YES

Defleksi pada iterasi 4

Depth (m)	defleksi (m)	depth (m)	defleksi
0	0	10.5	-0.133161
1	0.001099	11.5	-0.133743
2	0.004427	12.5	-0.128842
3	0.012523	13.5	-0.119168
4	0.027487	14.5	-0.105754
5	0.046969	15.5	-0.089836
6	0.068278	16.5	-0.072724
7	0.089061	17.5	-0.055674
8	0.107345	18.5	-0.03977
9	0.121586	19.5	-0.025792
10	0.130712	20.5	-0.014094
11	0.134167	21.5	-0.00443
12	0.131945		
13	0.124547		
14	0.112859		
15	0.098033		
16	0.081355		
17	0.064126		
18	0.04753		
19	0.032516		
20	0.019667		
21	0.00908		
22	0		

Iterasi 5

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	defleksi (m)	Ks	Pa Min	Pa	Pa Actual	Spring
0	0.844444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES
1	2.255556	0.001099	1022.727	0	1.131578	2.255555556	YES
2	3.011111	0.004427	1022.727	0	-1.5165	0	NO
3	2.696566	0.012523	1193.182	0.625313	-12.2457	0.625312578	NO
4	2.072044	0.027487	1193.182	1.3799	-30.7249	1.379899773	NO
5	2.280182	0.046969	1562.5	1.505816	-71.1089	1.505815718	NO
6	2.546066	0.068278	1562.5	1.681404	-104.138	1.681403548	NO
7	2.820898	0.089061	1562.5	1.862901	-136.337	1.862900584	NO
8	3.154114	0.107345	2225.379	2.091679	-235.729	2.091678967	NO
9	3.367043	0.121586	1704.545	2.214688	-203.882	2.214688406	NO
10	3.581865	0.130712	1704.545	2.336459	-219.223	2.33645856	NO
11	3.73394	0.134167	2509.47	2.401842	-332.954	2.401842037	NO
12	4.066807	0.131945	2509.47	2.615957	-327.045	2.615957141	NO
13	4.316457	0.124547	2509.47	2.830072	-308.23	2.830072245	NO
14	4.73254	0.112859	2509.47	3.044187	-278.484	3.044187348	NO
15	5.065406	0.098033	2509.47	3.258302	-240.945	3.258302452	NO
16	5.398273	0.081355	2509.47	3.472418	-198.76	3.472417555	NO
17	5.731139	0.064126	2509.47	3.686533	-155.191	3.686532659	NO
18	6.064006	0.04753	2509.47	3.900648	-113.211	3.900647762	NO
19	6.396873	0.032516	2509.47	4.114763	-75.201	4.114762866	NO
20	6.729739	0.019667	2509.47	4.328878	-42.624	4.328877969	NO
21	7.062606	0.00908	2509.47	4.542993	-15.7234	4.542993073	NO
22	3.656128	0	2509.47	2.35179	3.656128	3.656127869	YES

-Tekanan tanah di belakang dinding

depth (m)	P0	defleksi	ks	Pp Max	Pp	Pp actual	Spring
10.5	0.375646969	-0.133161	1704.545455	0.326086032	227.3546	0.326086032	NO
11.5	1.000943874	-0.133743	2509.469697	2.60868826	336.6249	2.60868826	NO
12.5	1.333810456	-0.128842	2509.469697	5.21737652	324.6589	5.21737652	NO
13.5	1.666677037	-0.119168	2509.469697	7.82606478	300.7152	7.82606478	NO
14.5	1.999543618	-0.105754	2509.469697	10.43475304	267.386	10.43475304	NO
15.5	2.332410199	-0.089836	2509.469697	13.0434413	227.7731	13.0434413	NO
16.5	2.66527678	-0.072724	2509.469697	15.65212956	185.164	15.65212956	NO
17.5	2.998143361	-0.055674	2509.469697	18.26081782	142.7104	18.26081782	NO
18.5	3.331009943	-0.03977	2509.469697	20.86950608	103.1326	20.86950608	NO
19.5	3.663876524	-0.025792	2509.469697	23.47819434	68.38812	23.47819434	NO
20.5	3.996743105	-0.014094	2509.469697	26.0868826	39.36521	26.0868826	NO
21.5	4.329609686	-0.00443	2509.469697	28.69557086	15.44656	4.329609686	YES

Lampiran. Perhitungan Iterasi pada Model 2

Iterasi 1 (Galian 6 m dengan 1 buah *strut*)

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	Pa Min	Ks
0	0.844444	0	1022.727
1	2.066667	0	1022.727
2	3.011111	0	1022.727
3	2.696566	0.625313	1193.182
4	2.072044	1.3799	1193.182
5	2.280182	1.505816	1562.5
6	2.546066	1.681404	1562.5
7	2.820898	1.862901	1562.5
8	3.154114	2.091679	2225.379
9	3.367043	2.213031	1704.545
10	3.581865	2.336459	1704.545
11	3.73394	2.401842	2509.47
12	4.066807	2.615957	2509.47
13	4.316457	2.830072	2509.47
14	4.73254	3.044187	2509.47
15	5.065406	3.258302	2509.47
16	5.398273	3.472418	2509.47
17	5.731139	3.686533	2509.47
18	6.064006	3.900648	2509.47
19	6.396873	4.114763	2509.47
20	6.729739	4.328878	2509.47
21	7.062606	4.542993	2509.47
22	7.395472	4.757108	2509.47

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Pp Max	Ks
6.5	0.861566	0.853169	1562.5
7.5	1.153774	2.64348	2225.379
8.5	1.464544	4.524164	2225.379
9.5	1.67617	6.85963	1704.545
10.5	1.945137	9.395263	2509.47
11.5	2.233957	12.27186	2509.47
12.5	2.566823	14.88055	2509.47
13.5	2.89969	17.48923	2509.47
14.5	3.232556	20.09792	2509.47
15.5	3.565423	22.70661	2509.47
16.5	3.89829	25.3153	2509.47
17.5	4.231156	27.92399	2509.47
18.5	4.564023	30.53268	2509.47
19.5	4.896889	33.14136	2509.47
20.5	5.229756	35.75005	2509.47
21.5	5.562623	38.35874	2509.47

Deformasi pada Iterasi 1

Depth (m)	Defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	6.5	-0.002965
1	0.001266	7.5	-0.002481
2	0.002344	8.5	-0.00204
3	0.003099	9.5	-0.001683
4	0.003476	10.5	-0.001397
5	0.003482	11.5	-0.001183
6	0.003187	12.5	-0.001035
7	0.002725	13.5	-0.000935
8	0.002252	14.5	-0.000863
9	0.001854	15.5	-0.000802
10	0.001533	16.5	-0.000741
11	0.001282	17.5	-0.000668
12	0.001104	18.5	-0.000574
13	0.000982	19.5	-0.00045
14	0.000899	20.5	-0.000289
15	0.000835	21.5	-0.000096
16	0.000775		
17	0.000709		
18	0.000627		
19	0.00052		
20	0.000378		
21	0.000199		
22	0		

Iterasi 2

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pa min	Pa	Pa Actual	Spring	
0	0.844444444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES	1022.727
1	2.066666667	0.001266	1022.727	0	0.771894	2.066666667	YES	1022.727
2	3.011111111	0.002344	1022.727	0	0.613838	3.011111111	YES	1022.727
3	2.696565583	0.003099	1193.182	0.625313	-1.0011	0.625312578	NO	0
4	2.072043986	0.003476	1193.182	1.3799	-2.07546	1.379899773	NO	0
5	2.280182157	0.003482	1562.5	1.505816	-3.16044	1.505815718	NO	0
6	2.546066111	0.003187	1562.5	1.681404	-2.43362	1.681403548	NO	0
7	2.820898082	0.002725	1562.5	1.862901	-1.43691	1.862900584	NO	0
8	3.154113943	0.002252	2225.379	2.091679	-1.85744	2.091678967	NO	0
9	3.367042866	0.001854	1704.545	2.213031	0.206816	2.213031323	NO	0
10	3.581865105	0.001533	1704.545	2.336459	0.968797	2.33645856	NO	0
11	3.73393999	0.001282	2509.47	2.401842	0.5168	2.401842037	NO	0
12	4.066806571	0.001104	2509.47	2.615957	1.296352	2.615957141	NO	0
13	4.316456507	0.000982	2509.47	2.830072	1.852157	2.830072245	NO	0
14	4.732539734	0.000899	2509.47	3.044187	2.476526	3.044187348	NO	0
15	5.065406315	0.000835	2509.47	3.258302	2.969999	3.258302452	NO	0
16	5.398272896	0.000775	2509.47	3.472418	3.453434	3.472417555	NO	0
17	5.731139477	0.000709	2509.47	3.686533	3.951925	5.731139477	YES	2509.47
18	6.064006058	0.000627	2509.47	3.900648	4.490569	6.064006058	YES	2509.47
19	6.39687264	0.00052	2509.47	4.114763	5.091948	6.39687264	YES	2509.47
20	6.729739221	0.000378	2509.47	4.328878	5.78116	6.729739221	YES	2509.47
21	7.062605802	0.000199	2509.47	4.542993	6.563221	7.062605802	YES	2509.47
22	7.395472383	0	2509.47	4.757108	7.395472	7.395472383	YES	2509.47

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp max	Pp	Pp Actual	Spring	
6.5	0.861566	-0.002965	1562.5	0.853169	5.494379	0.853169	NO	0
7.5	1.153774	-0.002481	2225.379	2.64348	6.674938	2.6434797	NO	0
8.5	1.464544	-0.00204	2225.379	4.524164	6.004316	4.5241636	NO	0
9.5	1.67617	-0.001683	1704.545	6.85963	4.54492	1.6761703	YES	1704.545
10.5	1.945137	-0.001397	2509.47	9.395263	5.450866	1.9451373	YES	2509.47
11.5	2.233957	-0.001183	2509.47	12.27186	5.202659	2.2339567	YES	2509.47
12.5	2.566823	-0.001035	2509.47	14.88055	5.164124	2.5668233	YES	2509.47
13.5	2.89969	-0.000935	2509.47	17.48923	5.246044	2.8996899	YES	2509.47
14.5	3.232556	-0.000863	2509.47	20.09792	5.398229	3.2325564	YES	2509.47
15.5	3.565423	-0.000802	2509.47	22.70661	5.578018	3.565423	YES	2509.47
16.5	3.89829	-0.000741	2509.47	25.3153	5.757807	3.8982896	YES	2509.47
17.5	4.231156	-0.000668	2509.47	27.92399	5.907482	4.2311562	YES	2509.47
18.5	4.564023	-0.000574	2509.47	30.53268	6.004458	4.5640228	YES	2509.47
19.5	4.896889	-0.00045	2509.47	33.14136	6.026151	4.8968894	YES	2509.47
20.5	5.229756	-0.000289	2509.47	35.75005	5.954993	5.2297559	YES	2509.47
21.5	5.562623	-0.000096	2509.47	38.35874	5.803532	5.5626225	YES	2509.47

Deformasi pada iterasi 2

Depth (m)	Defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	6.5	-0.016187
1	0.004525	7.5	-0.014284
2	0.008792	8.5	-0.011534
3	0.01249	9.5	-0.008478
4	0.015217	10.5	-0.005706
5	0.016665	11.5	-0.003558
6	0.016694	12.5	-0.002088
7	0.015371	13.5	-0.001195
8	0.012986	14.5	-0.000724
9	0.010009	15.5	-0.000524
10	0.007034	16.5	-0.000471
11	0.004551	17.5	-0.000469
12	0.002746	18.5	-0.000452
13	0.001582	19.5	-0.000387
14	0.000919	20.5	-0.000262
15	0.000601	21.5	-0.000089
16	0.000488		
17	0.000472		
18	0.000469		
19	0.00043		
20	0.000335		
21	0.000184		
22	0		

Iterasi 3

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pa min	Pa	Pa Actual	Spring	
0	0.84444444	0	1022.727	0	0.844444	0.84444444	YES	1022.727
1	2.06666667	0.004525	1022.727	0	-2.56117	0	NO	0
2	3.01111111	0.008792	1022.727	0	-5.98071	0	NO	0
3	2.69656583	0.01249	1193.182	0.625313	-12.2063	0.625312578	NO	0
4	2.072043986	0.015217	1193.182	1.3799	-16.0846	1.379899773	NO	0
5	2.280182157	0.016665	1562.5	1.505816	-23.7589	1.505815718	NO	0
6	2.546066111	0.016694	1562.5	1.681404	-23.5383	1.681403548	NO	0
7	2.820898082	0.015371	1562.5	1.862901	-21.1963	1.862900584	NO	0
8	3.154113943	0.012986	2225.379	2.091679	-25.7447	2.091678967	NO	0
9	3.367042866	0.010009	1704.545	2.213031	-13.6938	2.213031323	NO	0
10	3.581865105	0.007034	1704.545	2.336459	-8.40791	2.33645856	NO	0
11	3.73393999	0.004551	2509.47	2.401842	-7.68666	2.401842037	NO	0
12	4.066806571	0.002746	2509.47	2.615957	-2.8242	2.615957141	NO	0
13	4.316456507	0.001582	2509.47	2.830072	0.346475	2.830072245	NO	0
14	4.732539734	0.000919	2509.47	3.044187	2.426337	3.044187348	NO	0
15	5.065406315	0.000601	2509.47	3.258302	3.557215	5.065406315	YES	2509.47
16	5.398272896	0.000488	2509.47	3.472418	4.173652	5.398272896	YES	2509.47
17	5.731139477	0.000472	2509.47	3.686533	4.54667	5.731139477	YES	2509.47
18	6.064006058	0.000469	2509.47	3.900648	4.887065	6.064006058	YES	2509.47
19	6.39687264	0.00043	2509.47	4.114763	5.317801	6.39687264	YES	2509.47
20	6.729739221	0.000335	2509.47	4.328878	5.889067	6.729739221	YES	2509.47
21	7.062605802	0.000184	2509.47	4.542993	6.600863	7.062605802	YES	2509.47
22	7.395472383	0	2509.47	4.757108	7.395472	7.395472383	YES	2509.47

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp max	Pp	Pp Actual	Spring	
6.5	0.861566	-0.016187	1562.5	0.853169	26.15375	0.853169	NO	0
7.5	1.153774	-0.014284	2225.379	2.64348	32.94108	2.6434797	NO	0
8.5	1.464544	-0.011534	2225.379	4.524164	27.13206	4.5241636	NO	0
9.5	1.67617	-0.008478	1704.545	6.85963	16.12731	6.8596298	NO	0
10.5	1.945137	-0.005706	2509.47	9.395263	16.26417	9.3952631	NO	0
11.5	2.233957	-0.003558	2509.47	12.27186	11.16265	2.2339567	YES	2509.47
12.5	2.566823	-0.002088	2509.47	14.88055	7.806596	2.5668233	YES	2509.47
13.5	2.89969	-0.001195	2509.47	17.48923	5.898506	2.8996899	YES	2509.47
14.5	3.232556	-0.000724	2509.47	20.09792	5.049413	3.2325564	YES	2509.47
15.5	3.565423	-0.000524	2509.47	22.70661	4.880385	3.565423	YES	2509.47
16.5	3.89829	-0.000471	2509.47	25.3153	5.08025	3.8982896	YES	2509.47
17.5	4.231156	-0.000469	2509.47	27.92399	5.408097	4.2311562	YES	2509.47
18.5	4.564023	-0.000452	2509.47	30.53268	5.698303	4.5640228	YES	2509.47
19.5	4.896889	-0.000387	2509.47	33.14136	5.868054	4.8968894	YES	2509.47
20.5	5.229756	-0.000262	2509.47	35.75005	5.887237	5.2297559	YES	2509.47
21.5	5.562623	-0.000089	2509.47	38.35874	5.785965	5.5626225	YES	2509.47

Deformasi pada iterasi 3

Depth (m)	Defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	6.5	-0.026129
1	0.007173	7.5	-0.023977
2	0.013821	8.5	-0.020481
3	0.01945	9.5	-0.016175
4	0.023633	10.5	-0.011676
5	0.026056	11.5	-0.007603
6	0.026574	12.5	-0.004461
7	0.025251	13.5	-0.002345
8	0.022369	14.5	-0.001107
9	0.018394	15.5	-0.000509
10	0.013913	16.5	-0.000301
11	0.009554	17.5	-0.000277
12	0.005908	18.5	-0.000297
13	0.003284	19.5	-0.000284
14	0.001634	20.5	-0.000207
15	0.000747	21.5	-0.000072
16	0.000373		
17	0.000279		
18	0.000291		
19	0.000301		
20	0.000258		
21	0.000149		
22	0		

Iterasi 4

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pa min	Pa	Pa Actual	Spring	
0	0.844444444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES	1022.727
1	2.066666667	0.007173	1022.727	0	-5.26936	0	NO	0
2	3.011111111	0.013821	1022.727	0	-11.124	0	NO	0
3	2.696565583	0.01945	1193.182	0.625313	-20.5108	0.625312578	NO	0
4	2.072043986	0.023633	1193.182	1.3799	-26.1264	1.379899773	NO	0
5	2.280182157	0.026056	1562.5	1.505816	-38.4323	1.505815718	NO	0
6	2.546066111	0.026574	1562.5	1.681404	-38.9758	1.681403548	NO	0
7	2.820898082	0.025251	1562.5	1.862901	-36.6338	1.862900584	NO	0
8	3.154113943	0.022369	2225.379	2.091679	-46.6254	2.091678967	NO	0
9	3.367042866	0.018394	1704.545	2.213031	-27.9864	2.213031323	NO	0
10	3.581865105	0.013913	1704.545	2.336459	-20.1335	2.33645856	NO	0
11	3.73393999	0.009554	2509.47	2.401842	-20.2415	2.401842037	NO	0
12	4.066806571	0.005908	2509.47	2.615957	-10.7591	2.615957141	NO	0
13	4.316456507	0.003284	2509.47	2.830072	-3.92464	2.830072245	NO	0
14	4.732539734	0.001634	2509.47	3.044187	0.632066	3.044187348	NO	0
15	5.065406315	0.000747	2509.47	3.258302	3.190832	3.258302452	NO	0
16	5.398272896	0.000373	2509.47	3.472418	4.462241	5.398272896	YES	2509.47
17	5.731139477	0.000279	2509.47	3.686533	5.030997	5.731139477	YES	2509.47
18	6.064006058	0.000291	2509.47	3.900648	5.33375	6.064006058	YES	2509.47
19	6.39687264	0.000301	2509.47	4.114763	5.641522	6.39687264	YES	2509.47
20	6.729739221	0.000258	2509.47	4.328878	6.082296	6.729739221	YES	2509.47
21	7.062605802	0.000149	2509.47	4.542993	6.688695	7.062605802	YES	2509.47
22	7.395472383	0	2509.47	4.757108	7.395472	7.395472383	YES	2509.47

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp max	Pp	Pp Actual	Spring	
6.5	0.861566	-0.026129	1562.5	0.853169	41.68813	0.853169	NO	0
7.5	1.153774	-0.023977	2225.379	2.64348	54.51168	2.6434797	NO	0
8.5	1.464544	-0.020481	2225.379	4.524164	47.04253	4.5241636	NO	0
9.5	1.67617	-0.016175	1704.545	6.85963	29.24719	6.8596298	NO	0
10.5	1.945137	-0.011676	2509.47	9.395263	31.24571	9.3952631	NO	0
11.5	2.233957	-0.007603	2509.47	12.27186	21.31345	12.271857	NO	0
12.5	2.566823	-0.004461	2509.47	14.88055	13.76157	2.5668233	YES	2509.47
13.5	2.89969	-0.002345	2509.47	17.48923	8.784396	2.8996899	YES	2509.47
14.5	3.232556	-0.001107	2509.47	20.09792	6.010539	3.2325564	YES	2509.47
15.5	3.565423	-0.000509	2509.47	22.70661	4.842743	3.565423	YES	2509.47
16.5	3.89829	-0.000301	2509.47	25.3153	4.65364	3.8982896	YES	2509.47
17.5	4.231156	-0.000277	2509.47	27.92399	4.926279	4.2311562	YES	2509.47
18.5	4.564023	-0.000297	2509.47	30.53268	5.309335	4.5640228	YES	2509.47
19.5	4.896889	-0.000284	2509.47	33.14136	5.609579	4.8968894	YES	2509.47
20.5	5.229756	-0.000207	2509.47	35.75005	5.749216	5.2297559	YES	2509.47
21.5	5.562623	-0.000072	2509.47	38.35874	5.743304	5.5626225	YES	2509.47

Deformasi pada iterasi 4

Depth (m)	Defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	6.5	-0.029514
1	0.007829	7.5	-0.027539
2	0.015114	8.5	-0.024071
3	0.02134	9.5	-0.019626
4	0.02606	10.5	-0.014802
5	0.028942	11.5	-0.010197
6	0.029822	12.5	-0.006327
7	0.028741	13.5	-0.003508
8	0.025964	14.5	-0.001716
9	0.021937	15.5	-0.000743
10	0.017226	16.5	-0.000321
11	0.012441	17.5	-0.000204
12	0.00815	18.5	-0.000204
13	0.004787	19.5	-0.000207
14	0.002498	20.5	-0.000158
15	0.001146	21.5	-0.000056
16	0.000482		0
17	0.000241		
18	0.000202		
19	0.000213		
20	0.000194		
21	0.000116		
22	0		

Iterasi 5

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pa min	Pa	Pa Actual	Spring	
0	0.844444444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES	1022.727
1	2.066666667	0.007829	1022.727	0	-5.94027	0	NO	0
2	3.011111111	0.015114	1022.727	0	-12.4464	0	NO	0
3	2.696565583	0.02134	1193.182	0.625313	-22.7659	0.625312578	NO	0
4	2.072043986	0.02606	1193.182	1.3799	-29.0223	1.379899773	NO	0
5	2.280182157	0.028942	1562.5	1.505816	-42.9417	1.505815718	NO	0
6	2.546066111	0.029822	1562.5	1.681404	-44.0508	1.681403548	NO	0
7	2.820898082	0.028741	1562.5	1.862901	-42.0869	1.862900584	NO	0
8	3.154113943	0.025964	2225.379	2.091679	-54.6256	2.091678967	NO	0
9	3.367042866	0.021937	1704.545	2.213031	-34.0256	2.213031323	NO	0
10	3.581865105	0.017226	1704.545	2.336459	-25.7806	2.33645856	NO	0
11	3.73393999	0.012441	2509.47	2.401842	-27.4864	2.401842037	NO	0
12	4.066806571	0.00815	2509.47	2.615957	-16.3854	2.615957141	NO	0
13	4.316456507	0.004787	2509.47	2.830072	-7.69637	2.830072245	NO	0
14	4.732539734	0.002498	2509.47	3.044187	-1.53612	3.044187348	NO	0
15	5.065406315	0.001146	2509.47	3.258302	2.189554	3.258302452	NO	0
16	5.398272896	0.000482	2509.47	3.472418	4.188709	5.398272896	YES	2509.47
17	5.731139477	0.000241	2509.47	3.686533	5.126357	5.731139477	YES	2509.47
18	6.064006058	0.000202	2509.47	3.900648	5.557093	6.064006058	YES	2509.47
19	6.39687264	0.000213	2509.47	4.114763	5.862356	6.39687264	YES	2509.47
20	6.729739221	0.000194	2509.47	4.328878	6.242902	6.729739221	YES	2509.47
21	7.062605802	0.000116	2509.47	4.542993	6.771507	7.062605802	YES	2509.47
22	7.395472383	0	2509.47	4.757108	7.395472	7.395472383	YES	2509.47

-Tekanan tanah di belakang dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp max	Pp	Pp Actual	Spring	
6.5	0.861566	-0.029514	1562.5	0.853169	46.97719	0.853169	NO	0
7.5	1.153774	-0.027539	2225.379	2.64348	62.43848	2.6434797	NO	0
8.5	1.464544	-0.024071	2225.379	4.524164	55.03164	4.5241636	NO	0
9.5	1.67617	-0.019626	1704.545	6.85963	35.12958	6.8596298	NO	0
10.5	1.945137	-0.014802	2509.47	9.395263	39.09031	9.3952631	NO	0
11.5	2.233957	-0.010197	2509.47	12.27186	27.82302	12.271857	NO	0
12.5	2.566823	-0.006327	2509.47	14.88055	18.44424	14.880546	NO	0
13.5	2.89969	-0.003508	2509.47	17.48923	11.70291	2.8996899	YES	2509.47
14.5	3.232556	-0.001716	2509.47	20.09792	7.538806	3.2325564	YES	2509.47
15.5	3.565423	-0.000743	2509.47	22.70661	5.429959	3.565423	YES	2509.47
16.5	3.89829	-0.000321	2509.47	25.3153	4.703829	3.8982896	YES	2509.47
17.5	4.231156	-0.000204	2509.47	27.92399	4.743088	4.2311562	YES	2509.47
18.5	4.564023	-0.000204	2509.47	30.53268	5.075955	4.5640228	YES	2509.47
19.5	4.896889	-0.000207	2509.47	33.14136	5.41635	4.8968894	YES	2509.47
20.5	5.229756	-0.000158	2509.47	35.75005	5.626252	5.2297559	YES	2509.47
21.5	5.562623	-0.000056	2509.47	38.35874	5.703153	5.5626225	YES	2509.47

Deformasi pada iterasi 5

Depth (m)	Defleksi (m)	Depth (m)	Defleksi (m)
0	0	6.5	-0.0309
1	0.00809	7.5	-0.029018
2	0.015627	8.5	-0.025593
3	0.022093	9.5	-0.021132
4	0.027033	10.5	-0.016226
5	0.030107	11.5	-0.011469
6	0.031144	12.5	-0.007367
7	0.03018	13.5	-0.004242
8	0.027472	14.5	-0.002159
9	0.023459	15.5	-0.000959
10	0.0187	16.5	-0.00039
11	0.013798	17.5	-0.000194
12	0.009316	18.5	-0.000165
13	0.005678	19.5	-0.000166
14	0.003081	20.5	-0.000131
15	0.001467	21.5	-0.000046
16	0.000615		
17	0.000263		
18	0.000172		
19	0.000171		
20	0.000159		
21	0.000097		
22	0		

Iterasi 6

-Tekanan tanah di depan dinding

Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pa min	Pa	Pa Actual	Spring	
0	0.844444444	0	1022.727	0	0.844444	0.844444444	YES	1022.727
1	2.066666667	0.00809	1022.727	0	-6.2072	0	NO	0
2	3.011111111	0.015627	1022.727	0	-12.971	0	NO	0
3	2.696565583	0.022093	1193.182	0.625313	-23.6644	0.625312578	NO	0
4	2.072043986	0.027033	1193.182	1.3799	-30.1832	1.379899773	NO	0
5	2.280182157	0.030107	1562.5	1.505816	-44.762	1.505815718	NO	0
6	2.546066111	0.031144	1562.5	1.681404	-46.1164	1.681403548	NO	0
7	2.820898082	0.03018	1562.5	1.862901	-44.3354	1.862900584	NO	0
8	3.154113943	0.027472	2225.379	2.091679	-57.9815	2.091678967	NO	0
9	3.367042866	0.023459	1704.545	2.213031	-36.6199	2.213031323	NO	0
10	3.581865105	0.0187	1704.545	2.336459	-28.2931	2.33645856	NO	0
11	3.73393999	0.013798	2509.47	2.401842	-30.8917	2.401842037	NO	0
12	4.066806571	0.009316	2509.47	2.615957	-19.3114	2.615957141	NO	0
13	4.316456507	0.005678	2509.47	2.830072	-9.93231	2.830072245	NO	0
14	4.732539734	0.003081	2509.47	3.044187	-2.99914	3.044187348	NO	0
15	5.065406315	0.001467	2509.47	3.258302	1.384014	3.258302452	NO	0
16	5.398272896	0.000615	2509.47	3.472418	3.854949	5.398272896	YES	2509.47
17	5.731139477	0.000263	2509.47	3.686533	5.071149	5.731139477	YES	2509.47
18	6.064006058	0.000172	2509.47	3.900648	5.632377	6.064006058	YES	2509.47
19	6.39687264	0.000171	2509.47	4.114763	5.967753	6.39687264	YES	2509.47
20	6.729739221	0.000159	2509.47	4.328878	6.330734	6.729739221	YES	2509.47
21	7.062605802	0.000097	2509.47	4.542993	6.819187	7.062605802	YES	2509.47
22	7.395472383	0	2509.47	4.757108	7.395472	7.395472383	YES	2509.47

-Tekanan tanah di belakang dinding

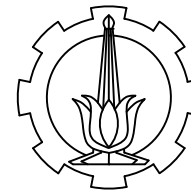
Depth (m)	P0	Defleksi (m)	Ks	Pp max	Pp	Pp Actual	Spring	
6.5	0.861566	-0.0309	1562.5	0.853169	49.14282	0.853169	NO	0
7.5	1.153774	-0.029018	2225.379	2.64348	65.72982	2.6434797	NO	0
8.5	1.464544	-0.025593	2225.379	4.524164	58.41866	4.5241636	NO	0
9.5	1.67617	-0.021132	1704.545	6.85963	37.69662	6.8596298	NO	0
10.5	1.945137	-0.016226	2509.47	9.395263	42.66379	9.3952631	NO	0
11.5	2.233957	-0.011469	2509.47	12.27186	31.01506	12.271857	NO	0
12.5	2.566823	-0.007367	2509.47	14.88055	21.05409	14.880546	NO	0
13.5	2.89969	-0.004242	2509.47	17.48923	13.54486	2.8996899	YES	2509.47
14.5	3.232556	-0.002159	2509.47	20.09792	8.650502	3.2325564	YES	2509.47
15.5	3.565423	-0.000959	2509.47	22.70661	5.972004	3.565423	YES	2509.47
16.5	3.89829	-0.00039	2509.47	25.3153	4.876983	3.8982896	YES	2509.47
17.5	4.231156	-0.000194	2509.47	27.92399	4.717993	4.2311562	YES	2509.47
18.5	4.564023	-0.000165	2509.47	30.53268	4.978085	4.5640228	YES	2509.47
19.5	4.896889	-0.000166	2509.47	33.14136	5.313461	4.8968894	YES	2509.47
20.5	5.229756	-0.000131	2509.47	35.75005	5.558496	5.2297559	YES	2509.47
21.5	5.562623	-0.000046	2509.47	38.35874	5.678058	5.5626225	YES	2509.47

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Muhammad Dwiyanto Agung Prakasa. Lahir di Ujung Pandang, Sulawesi Selatan pada tanggal 18 Januari 1996. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Pembina Palopo, SDN 80 Lalebata Palopo, SD Negeri Mangkura III Makassar, SMP Negeri 08 Makassar, dan SMA Negeri 17 Makassar. Setelah lulus dari SMA Negeri 17 Makassar, penulis mengikuti SMITS (Seleksi Masuk ITS) jalur PKM dan diterima di Jurusan Teknik Sipil FTS-Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013.

Di Jurusan Teknik Sipil, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang Geoteknik. Pada masa perkuliahan penulis aktif dalam berorganisasi di bidang kemahasiswaan. Penulis menjadi pengurus LE-HMS FTSP ITS sebagai staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasisw adan pengurus BEM FTSP sebagai staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa pada tahun kedua serta Ketua HMS FTSP ITS pada tahun ketiga. Penulis dapat dihubungi melalui *email* dwiyantoagung17@gmail.com



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Underpass Simpang
Mandai Makassar dengan Metode
Jacked Box Tunnel

DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Ir. INDRASURYA B.M., MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Dr. YUDHI LASTIASIH, ST. MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

MUH. DWIYANTO AGUNG P.
3113100148

NAMA GAMBAR

POTONGAN MELINTANG BOX
TUNNEL

SKALA GAMBAR

1 : 100

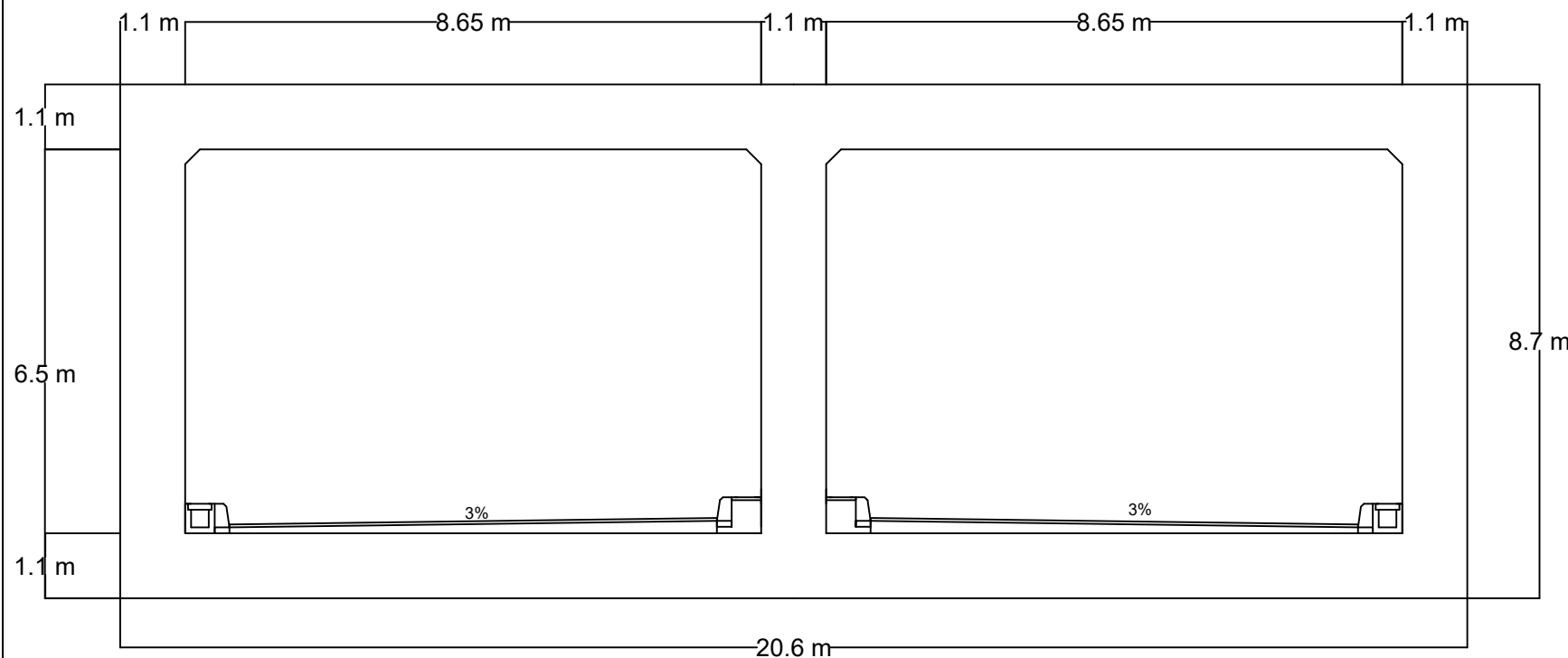
CATATAN

NO. LEMBAR

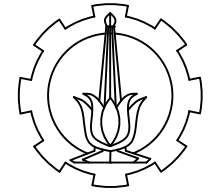
01

JUMLAH LEMBAR

05



Potongan Melintang Box Tunnel
SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Underpass Simpang
Mandai Makassar dengan Metode
Jacked Box Tunnel

DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Ir. INDRASURYA B.M., MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Dr. YUDHI LASTIASIH, ST. MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

MUH. DWIYANTO AGUNG P.
3113100148

NAMA GAMBAR

PENULANGAN BOX TUNNEL

SKALA GAMBAR

1 : 100

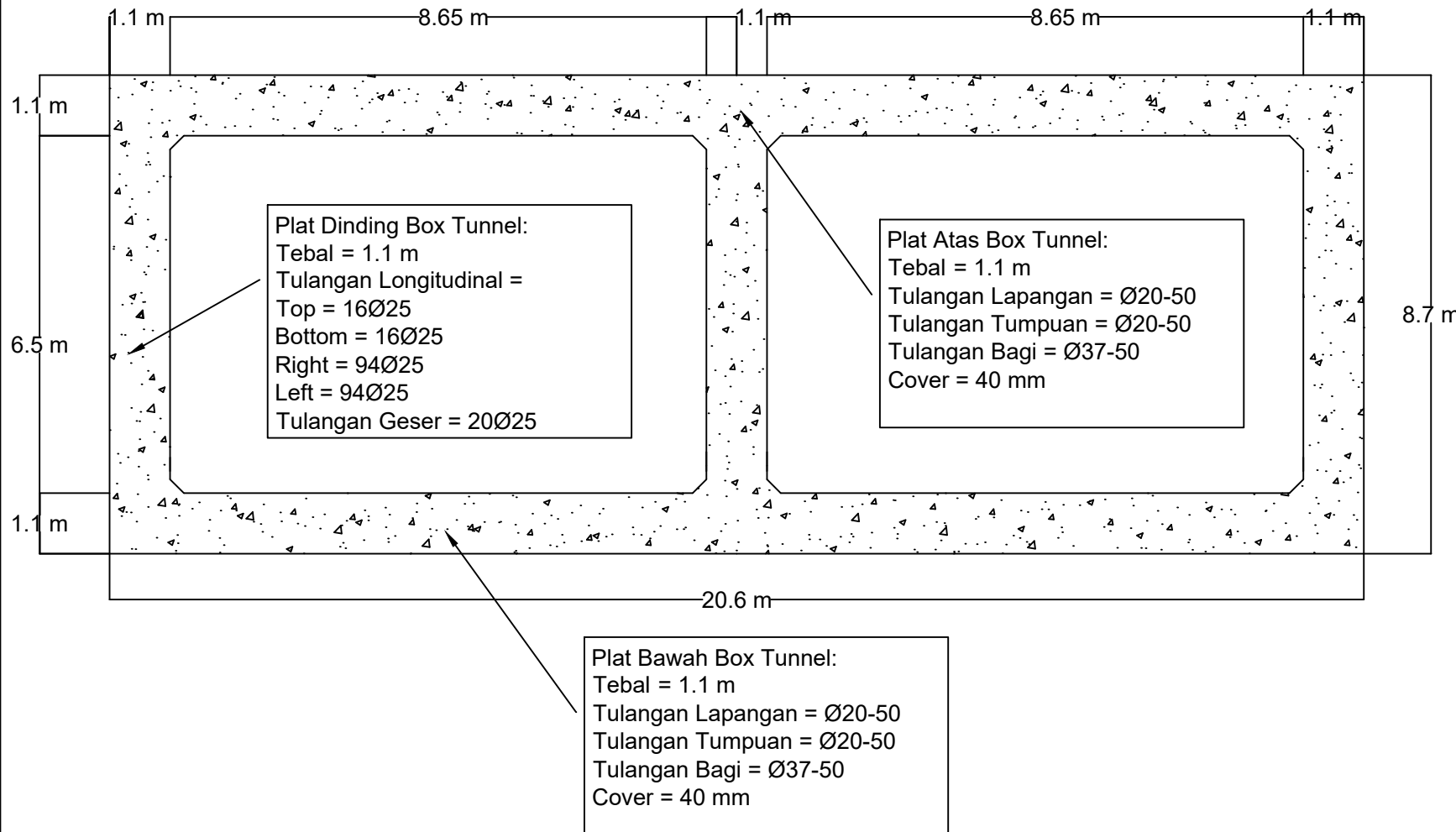
CATATAN

NO. LEMBAR

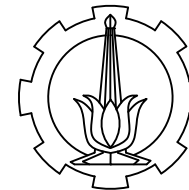
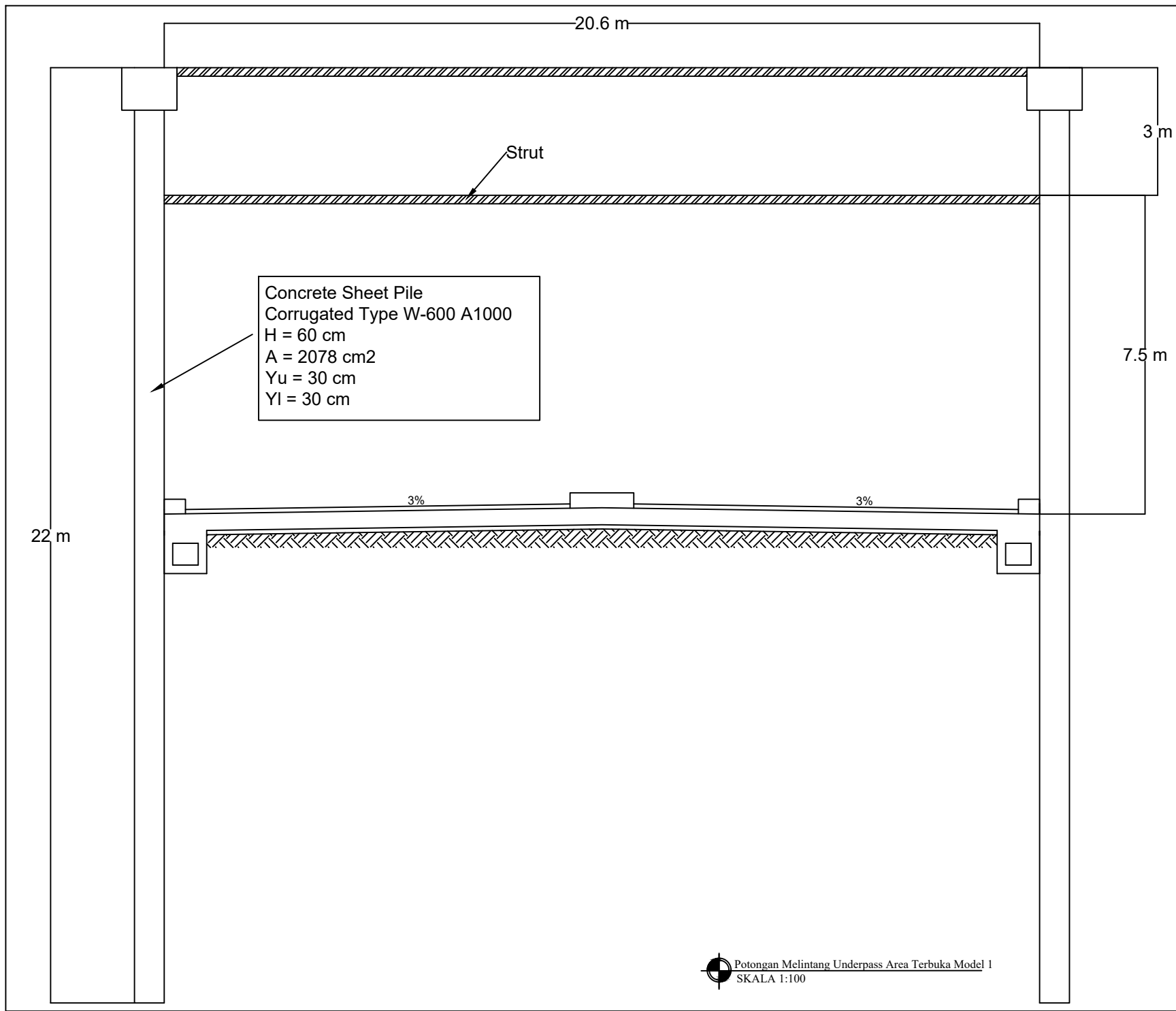
02

JUMLAH LEMBAR

05



Penulangan Box Tunnel
SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Underpass Simpang
Mandai Makassar dengan Metode
Jacked Box Tunnel

DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Ir. INDRASURYA B.M., MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Dr. YUDHI LASTIASIH, ST. MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

MUH. DWIYANTO AGUNG P.
3113100148

NAMA GAMBAR

POTONGAN MELINTANG
UNDERPASS AREA TERBUKA
MODEL 1

SKALA GAMBAR

1 : 100

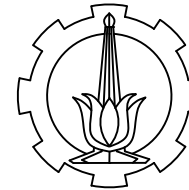
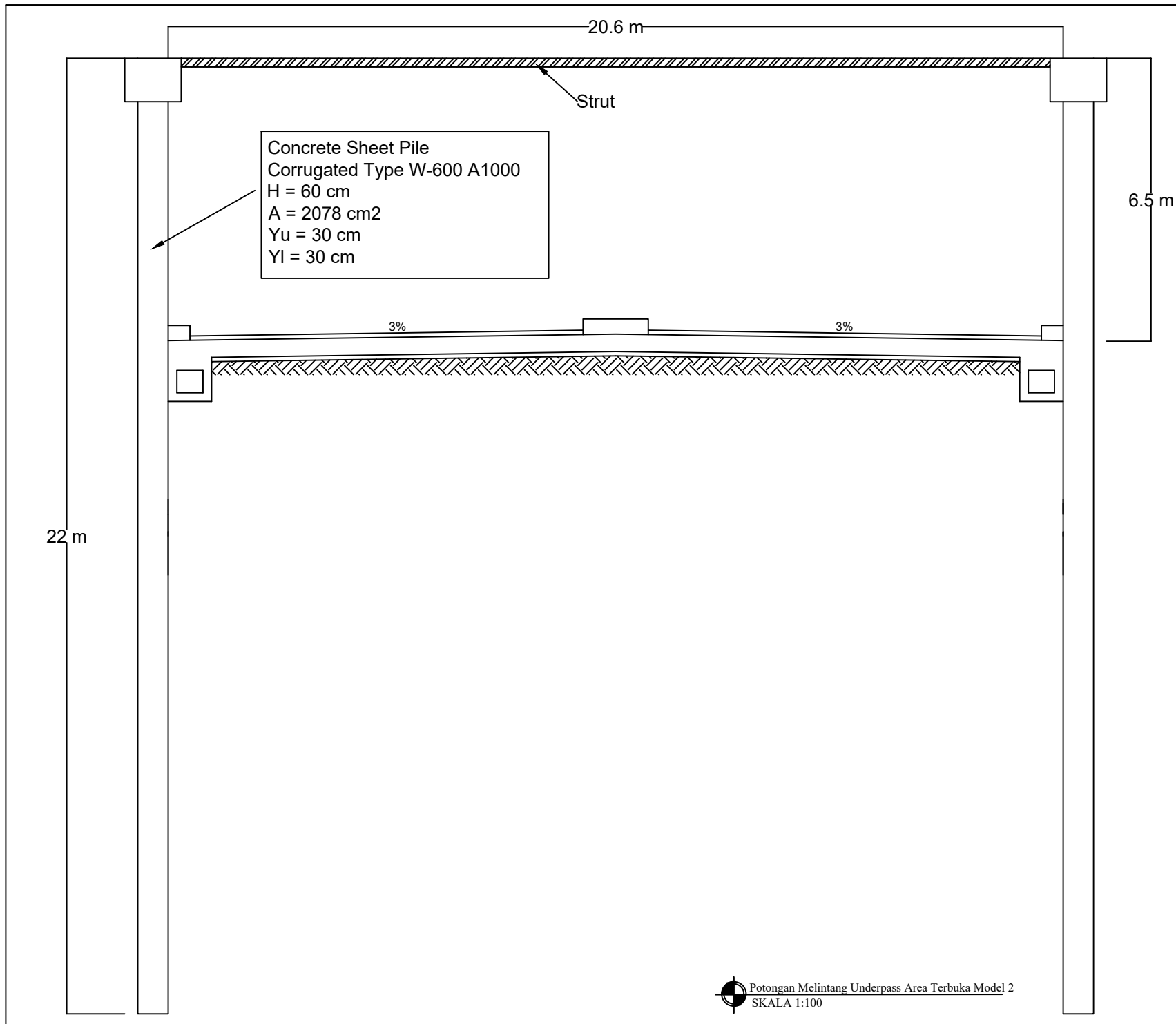
CATATAN

NO. LEMBAR

03

JUMLAH LEMBAR

05



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Underpass Simpang
Mandai Makassar dengan Metode
Jacked Box Tunnel

DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Ir. INDRASURYA B.M., MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Dr. YUDHI LASTIASIH, ST. MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

MUH. DWIYANTO AGUNG P.
3113100148

NAMA GAMBAR

POTONGAN MELINTANG
UNDERPASS AREA TERBUKA
MODEL 2

SKALA GAMBAR

1 : 100

CATATAN

NO. LEMBAR

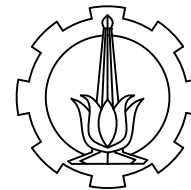
04

JUMLAH LEMBAR

05



Potongan Melintang Underpass Area Terbuka Model 2
SKALA 1:100



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Underpass Simpang
Mandai Makassar dengan Metode
Jacked Box Tunnel

DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Ir. INDRASURYA B.M., MSc. PhD

DOSEN PEMBIMBING II

Dr. YUDHI LASTIASIH, ST. MT.

NAMA & NRP MAHASISWA

MUH. DWIYANTO AGUNG P.
3113100148

NAMA GAMBAR

TAMPAK ATAS SHEET PILE
(UNDERPASS AREA TERBUKA)

SKALA GAMBAR

1 : 100

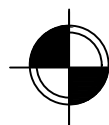
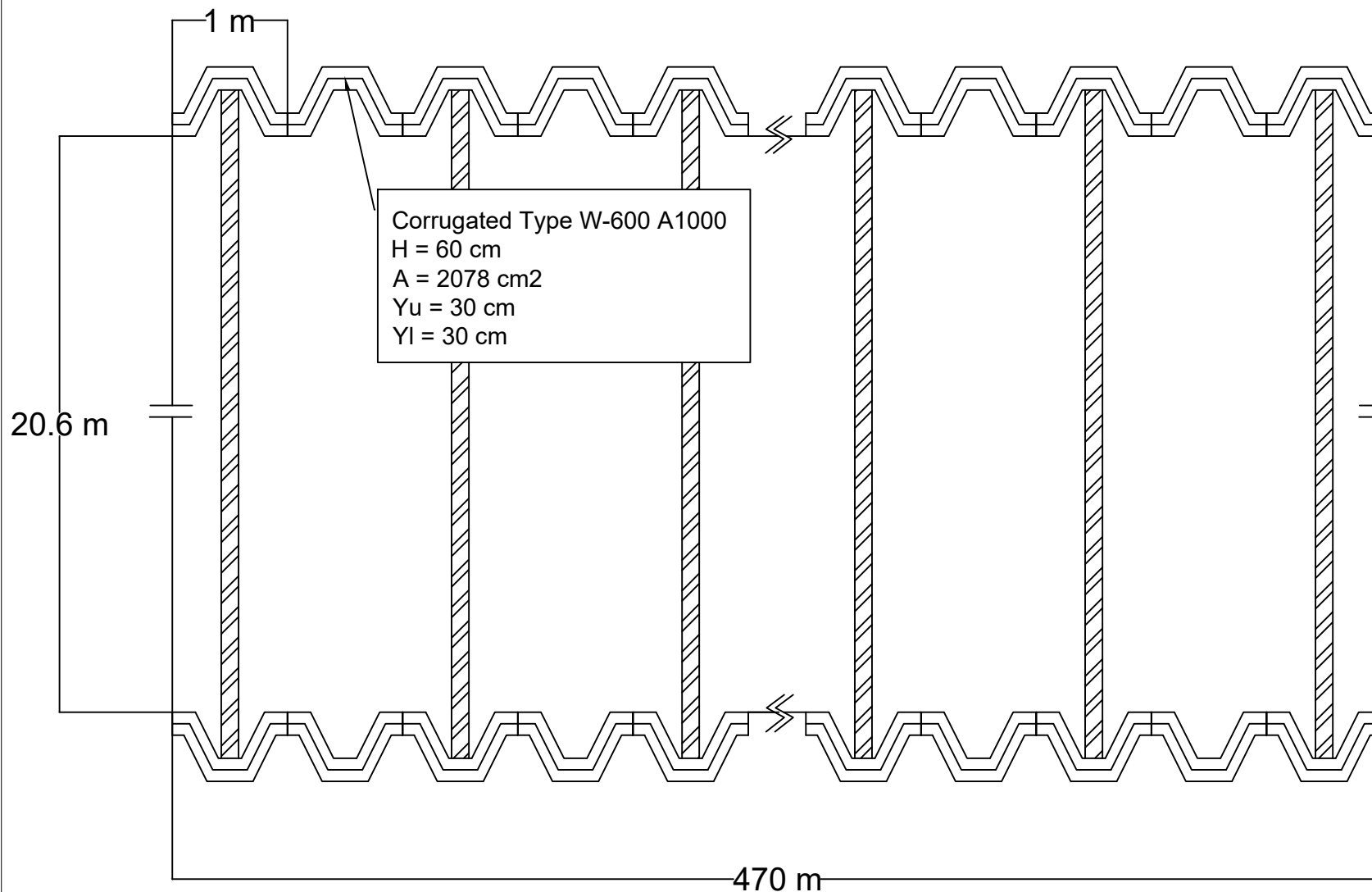
CATATAN

NO. LEMBAR

05

JUMLAH LEMBAR

05



Tampak Atas Sheet Pile (Underpass Area Terbuka)
SKALA 1:100



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: PROF. Ir. INDRASURYA B.M., MSc. PhD
NAMA MAHASISWA	: MUH. DWIYANTO AGUNG P.
NRP	: 31 13 100 148
JUDUL TUGAS AKHIR	: PERENCANAAN UNDERPASS SIMPANG MANDAI MAKASSAR DENGAN METODE JACKED BOX TUNNEL.
TANGGAL PROPOSAL	: 25 JANUARI 2017
NO. SP-MMTA	: 014564

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	17/03-'17	ANALISIS DATA TANAH (Penggabungan data borlog & korelasi parameter data tanah)	Revisi Analisis data tanah, Desain Box Tunnel (plat Atas, & plat dinding)	Sh
2.	4/04-'17	Desain Box Tunnel (plat Atas, & plat dinding)	Revisi plat Atas, plat dinding Box Tunnel. Desain plat bawah Box tunnel	Sh
3.	14/04-'17	Desain Box Tunnel (plat Atas, plat dinding & plat Bawah)	Revisi Desain Box Tunnel, kontrol Uplift & kontrol defleksi.	Sh
4.	12/05-'17	Kontrol uplift & kontrol defleksi	Teori Anti drag system dan grease effect.	Sh
5.	21/05-'17	Gaya Jack hydraulic yang dibutuhkan (Anti drag system & efek grease)	Teori Anti drag system dan grease effect. menghitung gaya Jack hydraulic. kebutuhan alat jack.	Sh
6.	30/05-'17	Gaya Jack hydraulic yang dibutuhkan (Anti drag system & efek grease)	Desain Sheet pile (teori yg digunakan, karakteristik, dan kedalaman).	Sh
7.	2/06-'17	Desain sheet pile (karakteristik, kedalaman & defleksi)	Revisi Desain sheet pile, Metode pelaksanaan.	Sh
8.	9/06-'17	Metode Pelaksanaan (Jacked Box Tunnel & Sheet Pile)	Revisi Metode pelaksanaan dan menulis laporan.	Sh



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. Yudhi Lastiasih, ST. MT.
NAMA MAHASISWA	: Muh. Dwiyanto Agung P.
NRP	: 31 13 100 148
JUDUL TUGAS AKHIR	: PERENCANAAN UNDERPASS SIMPANG MANDAI MAKASSAR DENGAN METODE JACKED BOX TUNNEL.
TANGGAL PROPOSAL	: 25 JANUARI 2017
NO. SP-MMTA	: 014564

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.		→ Analisis Data Tanah (Korelasi nilai N-SPT dengan parameter data tanah)	→ Revisi analisis data tanah Desain Box Tunnel (plat atas, plat dinding)	MA
2.		→ Desain Box Tunnel (perencanaan plat atas dan dinding)	→ Revisi plat atas, dinding box tunnel. Desain plat bawah box tunnel.	MA
3.		→ Desain Box Tunnel (perencanaan plat atas, dinding, & plat bawah)	→ Revisi desain box tunnel. kontrol uplift & kontrol defleksi.	MA
4.		→ kontrol Defleksi & Uplift	→ Teori anti drag system dan grease effect	MA
5.		Gaya jack hydraulic yang dibutuhkan (Anti drag system & efek grease)	→ Teori anti drag system, grease effect & alat jack yg dibutuhkan.	MA
6.		Gaya Jack hydraulic yang dibutuhkan (jumlah alat jack)	→ Desain sheet pile	MA
7.		Desain sheet pile	→ Revisi Desain sheet pile, Metode pelaksanaan.	MA
8.		Metode Pelaksanaan.	→ Revisi Metode pelaksanaan & menulis laporan.	MA